

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO – UFTM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS E EXATAS – ICTE
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

MILENA NOGUEIRA LIMA

Proposta de modelo para seleção de fornecedores baseado em critérios sustentáveis e nos métodos *fuzzy* AHP e *fuzzy 2-tuple*

UBERABA/MG

2019

MILENA NOGUEIRA LIMA

Proposta de modelo para seleção de fornecedores baseado em critérios sustentáveis e nos métodos *fuzzy AHP* e *fuzzy 2-tuple*

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica, área de Gestão de Operações, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Lauro Osiro

UBERABA/MG

2019

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

L699p Lima, Milena Nogueira
Proposta de modelo para seleção de fornecedores baseado em
critérios sustentáveis e nos métodos *fuzzy* AHP e *fuzzy 2-tuple* /
Milena Nogueira Lima. -- 2019.
65 f. : il., fig., graf., tab.

Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica)
-- Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2019
Orientador: Prof. Dr. Lauro Osiro

1. Engenharia de produção. 2. Sistemas de suporte de decisão.
3. Sistemas difusos. I. Osiro, Lauro. II. Universidade Federal do
Triângulo Mineiro. III. Título.

CDU 658.5

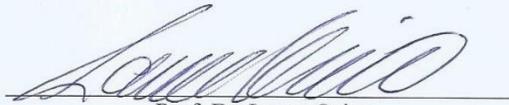
MILENA NOGUEIRA LIMA

PROPOSTA DE MODELO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES
BASEADO EM CRITÉRIOS SUSTENTÁVEIS E NOS MÉTODOS FUZZY AHP
E FUZZY 2-TUPLE

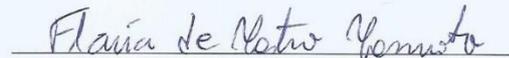
Trabalho de conclusão apresentado ao
Programa de Mestrado Profissional em
Inovação Tecnológica da Universidade Federal
do Triângulo Mineiro, como requisito para
obtenção do título de mestre.

Uberaba, 25 de fevereiro de 2019

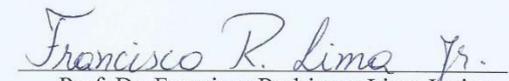
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Lauro Osiro
Orientador – UFTM



Profa. Dra. Flávia de Castro Camioto
Membro Titular – UFTM



Prof. Dr. Francisco Rodrigues Lima Junior
Membro titular – UTFPR

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador por toda orientação e atenção que me foi dedicada.

A todos os membros da banca por aceitarem contribuir com esse trabalho.

A minha família por sempre me apoiarem em busca de crescimento.

Ao meu companheiro Dilson pelo seu apoio diário e de sua família.

Colegas de trabalho pela contribuição de informações.

A empresa pela disponibilização para execução do trabalho.

RESUMO

Com o aumento da responsabilidade das empresas em buscar os melhores impactos ambientais, sociais e econômicos possíveis ao longo de todo o ciclo de vida, surge a necessidade de incorporar práticas sustentáveis de gestão da cadeia de suprimentos adotando critérios econômicos, sociais e ambientais, conhecido como *triple bottom line*. O interesse social e ambiental proporciona crescente utilização de critérios qualitativos, pois suas métricas não se encontram no mesmo nível de consolidação que as métricas econômicas. Nesse contexto, a utilização da abordagem *fuzzy*, que se assemelha ao raciocínio humano e representa matematicamente a incerteza e imprecisão, é usada como ferramenta para tomada de decisão. Esse trabalho propõe um modelo de seleção de fornecedores utilizando critérios sustentáveis quantitativos e qualitativos. Para definir os pesos desses critérios o método *fuzzy AHP* foi usado e a abordagem *fuzzy 2-tuple* foi aplicada para avaliação dos fornecedores. O modelo proposto é aplicado em um estudo de caso de uma indústria de fertilizantes, gerando no fim um *ranking* dos fornecedores para auxiliar os responsáveis pelas compras a adotarem a melhor escolha. Os resultados obtidos para os pesos dos critérios se mostraram coerentes com o observado na literatura, sendo os valores mais altos relacionados aos critérios econômicos e menores para os critérios sociais. A avaliação dos fornecedores se mostrou simples e prática na aplicação e os resultados obtidos foram coerentes com o esperado pelos tomadores de decisão, sendo assim os métodos utilizados se mostraram adequados. De toda forma, algumas melhorias foram propostas como, por exemplo, estabelecer conceitos mais claros e padrões para os critérios, para não haver dúvidas entre os tomadores de decisão, tornando o processo mais ágil e as informações mais confiáveis. Demais ações foram sugeridas para melhorar o desempenho sustentável dos fornecedores avaliados e a empresa se propôs a reproduzir para os fornecedores de matérias primas de maior volume a princípio.

Palavras-chave: Seleção de Fornecedores. Fuzzy AHP. Fuzzy 2-tuple. Critérios Sustentáveis

ABSTRACT

With the increased responsibility of the companies to find the best environmental, social and economic impacts possible throughout the life cycle, the need arises to incorporate sustainable practices of supply chain management by adopting criteria economic, social and environmental, known as the triple bottom line.. The social and environmental interest provides increased use of qualitative criteria, because your metrics are not at the same level of consolidation that economic metrics. In this context, the use of the fuzzy approach, which resembles human reasoning and represents mathematically uncertainty and vagueness, is used as a tool for decision making. This work proposes a model of selecting suppliers using sustainable quantitative and qualitative criteria. To set the weights of these criteria the fuzzy AHP method was used and the 2-tuple fuzzy approach applied to evaluation of suppliers. The proposed model is applied in a case study of a fertilizer industry, generating the end ranking of suppliers to assist those responsible for purchases to adopt the best choice. The results obtained for the weights of the criteria were consistent with the observed in the literature, with the higher values related to economic criteria and smaller for the social criteria. The evaluation of suppliers proved simple and practice on implementation and the results obtained were consistent with the expected by decision makers, so the methods used were appropriate. Anyway, some improvements were proposals such as establishing clearer concepts and standards for the criteria, so there's no doubts among the decision makers, making the process faster and more reliable information. Other actions were suggested to improve the sustainable performance of the suppliers evaluated and the company set out to play for the suppliers of raw materials of highest volume at first.

Keywords: Selection of suppliers. Fuzzy AHP. Fuzzy 2-tuple. Sustainable Criteria

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| FIGURA 01 – Estrutura proposta para seleção de fornecedores | 14 |
| FIGURA 02 – Métodos MCDM por número de ocorrências | 22 |
| FIGURA 03 – Representação do número <i>fuzzy</i> triangular, M | 26 |
| FIGURA 04 – Ordenada do ponto mais alto de interseção D entre M_1 e M_2 | 28 |
| FIGURA 05 – Diferença de informação entre o resultado de agregação β e o termo linguístico mais próximo | 30 |
| FIGURA 06 – Esquema de associação dos termos linguísticos ao número triangular | 32 |
| FIGURA 07 – Fluxograma do modelo proposto | 34 |
| FIGURA 08 – Estrutura hierárquica do método <i>fuzzy</i> AHP com critérios sustentáveis | 43 |
| QUADRO 01 – Critérios sustentáveis utilizados na literatura | 20 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 01 – Valores do RI | 29 |
| TABELA 02 – Escala comparativa em termos linguísticos usada no modelo | 35 |
| TABELA 03 – Matriz de comparação das dimensões e CR | 39 |
| TABELA 04 – Matriz de agregação das dimensões | 40 |
| TABELA 05 – Valores de peso obtidos para as dimensões | 42 |
| TABELA 06 – Matriz de comparação dos critérios econômicos e CR | 44 |
| TABELA 07 – Matriz de comparação dos critérios ambientais e CR | 44 |
| TABELA 08 – Matriz de comparação dos critérios sociais CR | 45 |
| TABELA 09 – Matriz de agregação dos critérios econômicos | 46 |
| TABELA 10 – Matriz de agregação dos critérios ambientais | 46 |
| TABELA 11 – Matriz de agregação dos critérios sociais | 46 |
| TABELA 12 - Valores normalizados para os critérios econômicos | 48 |
| TABELA 13 – Valores normalizados para os critérios ambientais | 48 |
| TABELA 14 – Valores normalizados para os critérios sociais | 48 |
| TABELA 15 - Avaliação dos fornecedores para os critérios quantitativos | 49 |
| TABELA 16 - Avaliação dos fornecedores sobre critérios econômicos em <i>fuzzy 2-tuple</i> | 50 |
| TABELA 17 – Avaliação dos fornecedores sobre critérios ambientais em <i>fuzzy 2-tuple</i> | 50 |
| TABELA 18 – Avaliação dos fornecedores sobre critérios sociais em <i>fuzzy 2-tuple</i> | 51 |
| TABELA 19 – Resultado completo da avaliação dos fornecedores | 52 |
| TABELA 20 – <i>Ranking</i> dos fornecedores | 53 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 OBJETIVOS | 12 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 13 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 2.1 AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE FORNECEDORES..... | 13 |
| 2.2 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DE FORNECEDORES | 16 |
| 2.3 CRITÉRIOS SUSTENTÁVEIS..... | 17 |
| 2.4 MÉTODOS DE DECISÃO MULTI CRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE FORNECEDORES | 21 |
| 2.5 FUZZY AHP (FAHP) | 24 |
| 2.5.1 Avaliação de consistência dos dados | 29 |
| 2.6 FUZZY 2-TUPLE..... | 30 |
| 3 PROPOSTA DE MODELO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES | 33 |
| 3.1 DEFINIÇÃO DOS TOMADORES DE DECISÃO E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO..... | 34 |
| 3.2 DEFINIÇÃO DOS PESOS UTILIZANDO FUZZY AHP | 35 |
| 3.3 DEFINIÇÃO DOS FORNECEDORES AVALIADOS..... | 36 |
| 3.4 AVALIAR OS FORNECEDORES UTILIZANDO FUZZY 2-TUPLE | 36 |
| 4 ESTUDO DE CASO | 37 |
| 4.1 A EMPRESA | 37 |
| 4.2 APLICAÇÃO DO MODELO | 39 |
| 4.3 AVALIAÇÃO DOS FORNECEDORES | 48 |
| 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 53 |
| 6 CONCLUSÃO | 57 |
| REFERÊNCIAS | 60 |

1. INTRODUÇÃO

O mercado cada vez mais competitivo, força as empresas a buscar o aperfeiçoamento de seus processos, dentre esses se destaca a busca de melhoria e desenvolvimento da sua cadeia de fornecimento. Com a concorrência entre as empresas evoluindo para a concorrência entre as cadeias de abastecimento, a seleção de fornecedores torna-se uma das atividades mais importantes de qualquer organização empresarial (YOU, *et. al*, 2015).

A tomada de decisão sobre a seleção de fornecedores afeta a cadeia de valor dentro de uma empresa, impacta diretamente no desempenho sustentável e determina a competitividade futura da empresa no mercado (GUALANDRIS et al., 2014). De acordo com Gencere Gurpinar (2007), em muitas empresas, o custo dos bens e serviços comprados é responsável por mais de 60% do custo do produto acabado e mais de 50% de todos os defeitos de qualidade provém desses insumos. Esse fato justifica a necessidade de empresas investirem em estudos de sua cadeia de fornecedores e definirem ações para aprimorar e obter vantagens estratégicas por meio da gestão de fornecedores.

Viana e Alencar (2012) observaram em estudos sobre o tema seleção de fornecedores uma tendência, na revisão sugeriram que o crescimento desse interesse tenha sido motivado pela complexidade do processo decisório aliada à importância no atual ambiente de negócios. Os autores reforçam que essa visão tem sido incorporada aos novos modelos de gestão que têm reconhecido cada vez mais o impacto do fornecedor nas operações organizacionais.

Para que a avaliação de fornecedores seja realizada, precisa-se definir os critérios que irão gerar informações confiáveis e coerentes com o planejamento estratégico da empresa, para que os gestores consigam tomar decisões corretas na seleção de fornecedores. Kannan e Tan (2002) concluem que os critérios operacionais tangíveis, são apontados como os mais utilizados. Contudo são critérios qualitativos, de difícil mensuração, como confiança e envolvimento, que contribuem para diferenciação no mercado. Dessa forma, para que se tenha resultados mais precisos na avaliação da empresa fornecedora, deve-se utilizar métodos que avaliem vários critérios, tanto quantitativos quanto qualitativos.

Nesse contexto, surgiram os métodos de decisão multicritérios (MCDM – *Multi-Criteria Decision Making*) que permitem realizar uma avaliação segundo um número de critérios definidos, sendo que cada critério induz a uma ordenação particular das alternativas, gerando dessa forma um *ranking* ou classificação dos fornecedores (KAHRAMAN et al., 2003). Yildiz e Yayla (2015) fornecem evidências que abordagens multicritérios são melhores do que as abordagens tradicionais, de critério único, nas tomadas de decisão em processos de avaliação de fornecedores. Além disso, observaram que o preço ou o custo não são critérios mais amplamente adotados. Em vez disso, os critérios mais usados para avaliar o desempenho dos fornecedores foram a qualidade seguida do prazo de entrega. Isso sugere que a abordagem tradicional de critério único com base no menor custo não é robusta no gerenciamento de suprimentos contemporâneo.

Dentre os parâmetros definidos pelas partes interessadas da empresa, os critérios que avaliam a sustentabilidade vêm ganhando popularidade, as empresas hoje compreendem a importância de preservar o meio ambiente e a sua responsabilidade social. Dessa forma, as companhias buscam a prática de realizar compras sustentáveis, que têm os melhores impactos ambientais, sociais e econômicos possíveis ao longo de todo o ciclo de vida e que buscam minimizar os impactos adversos. Também podem ser definidas como as compras que atendem as necessidades de bens e serviços de uma organização e ao mesmo tempo beneficiam a sociedade e minimizam impactos negativos ao meio ambiente (KAYATT, 2018).

Na formulação tradicional de tomada de decisão multicritérios, os julgamentos humanos são representados como números exatos. No entanto, em muitos casos práticos, os dados podem ser imprecisos ou os tomadores de decisão podem não conseguir atribuir valores numéricos exatos à avaliação, uma vez que alguns dos critérios de avaliação são subjetivos e de natureza qualitativa, é muito difícil expressar as preferências usando valores numéricos exatos, o que gera perda de informações importantes para a avaliação (WANG CHEN et al., 2016). Nesse contexto surge a utilização da representação fuzzy.

A abordagem *fuzzy* apresenta vantagens por ser capaz de modelar variáveis do problema de seleção de fornecedores em ambientes caracterizados por ausência de informações, já que as pontuações dos fornecedores e os pesos dos critérios não

são definidas por uma faixa de valores exatos e sim por certos termos linguísticos utilizadas no cotidiano (LIMA-JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2013).

No artigo de Chang (1996) é dada uma abordagem para lidar com a combinação *fuzzy* e Análise Hierárquica (AHP - Analytic Hierarchy Process), conhecida como *extent analysis method*, muito utilizada na literatura para seleção de fornecedores conforme mencionado por Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2013). Na maioria dos trabalhos essa abordagem é utilizada para definição dos pesos dos critérios, se mostrando adequada e prática para esse objetivo (ZEYDAN; ÇOLPAN; ÇOBANOGLU, 2011; KILINCCI; ONAL, 2011; LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2014; WANG CHEN et al., 2016). Dessa forma, essa abordagem foi utilizada para nivelamento dos pesos dos critérios no modelo proposto nesse trabalho.

O método utilizado para avaliação e seleção de fornecedor no modelo proposto nesse trabalho também combina a abordagem *fuzzy*, nesse caso foi utilizado o *fuzzy 2-tuple*, uma ferramenta pouco aplicada na literatura, mas que se mostra eficiente por lidar melhor com as incertezas e produzir resultados mais robustos (GÖRENER et al., 2017). O método também se mostra adequado por ser flexível e combinar critérios qualitativos e quantitativos em sua avaliação, oferecendo assim resultados mais completos e assertivos (SANTOS; OSIRO; LIMA, 2017; KAHRAMAN et al., 2014).

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma: o primeiro capítulo trata-se dessa introdução na qual os objetivos do trabalho são exibidos. No segundo capítulo é abordada a revisão bibliográfica sobre os temas centrais como: modelos de avaliação e seleção de fornecedores, critérios sustentáveis e o conceito dos métodos que foram utilizados. No terceiro capítulo é apresentado o modelo proposto para avaliação e seleção de fornecedores sustentáveis e em seguida no capítulo quatro uma aplicação é demonstrada em um estudo de caso. Os resultados são discutidos no capítulo cinco e propostas são sugeridas para melhoria contínua do modelo. Uma breve conclusão é apresentada no último capítulo.

1.1 OBJETIVOS

Mediante a importância do tema, propõem-se um modelo de apoio a decisão para seleção de fornecedores, no qual serão empregados critérios sustentáveis quantitativos e qualitativos. Para atingir esse objetivo foi utilizada a abordagem *fuzzy*

AHP para ponderação dos critérios e a representação linguística *fuzzy 2-tuple* para avaliação dos fornecedores.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Revisar modelos de avaliação de fornecedores na literatura para contextualizar a contribuição do modelo proposto;
- b) Revisar as técnicas MCDM na literatura a fim de definir a melhor escolha para a proposta desse trabalho;
- c) Elaborar um modelo e através de estudo de caso mostrar sua aplicabilidade;
- d) Analisar resultados e definir melhorias para o modelo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão da literatura foi dividida em seis seções, na primeira é apresentado algumas estruturas usadas para avaliação e seleção de fornecedores, na segunda e terceira etapas são apresentados os critérios comumente utilizados para avaliação dos fornecedores, incluindo os relacionados a sustentabilidade. Na quarta etapa são apresentados os MCDM e por fim os conceitos dos métodos escolhidos para esse trabalho, *fuzzy AHP* e *fuzzy 2-tuple*, são apresentados na quinta e sexta subseção.

2.1 AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE FORNECEDORES

De acordo com a ABNT ISO 9001:2015 (2017, p.16) norma utilizada pelas organizações para certificar a conformidade de seus processos, “A organização deve determinar e aplicar critérios para a avaliação, seleção, monitoramento de desempenho e reavaliação de provedores externos, baseados na sua capacidade de prover processos ou produtos e serviços de acordo com requisitos” . Dessa forma, para que a empresa garanta o fornecimento de produtos e serviços que atendam às necessidades de seus clientes, deve-se avaliar regularmente os seus fornecedores.

A princípio é preciso definir claramente o problema em questão, examinar o que pode significar procurar novos fornecedores para um produto, substituir fornecedores atuais ou escolher fornecedores para novos produtos do portfólio existente.

Especialmente no caso da seleção de novos fornecedores, dependendo do item a ser comprado, o número de fornecedores alternativos pode ser muito grande (LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2014). Dessa forma, nem todos fornecedores devem ser tratados da mesma forma, alguns avaliados como estratégicos para a companhia requerem um trabalho diferenciado e outros uma relação mais tradicional (DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001).

De Boer, Labro e Morlacchi (2001) estruturaram o processo com objetivo de propor um modelo para organizar e realizar o processo de seleção de fornecedores. A metodologia sugerida foi distribuída em 4 etapas inter-relacionadas que visam identificar um conjunto de possíveis fornecedores e reduzi-lo até a escolha final, na Figura 1 está esquematizada essa estrutura.

Figura 1 – Estrutura proposta para seleção de fornecedores



Fonte: Boer, Labro e Morlacchi, 2001

Compreende-se que na etapa inicial deve-se avaliar o contexto em que a empresa está inserida para definir claramente o objetivo do processo de seleção. Questões como “Buscar novos fornecedores ou aproximar os existentes com criação de contratos para fortalecer a parceria?”, podem ser realizadas nessa etapa. Na sequência, deve-se definir os critérios de decisão de acordo com os objetivos da empresa, nessa etapa surgem critérios de difícil mensuração. A terceira etapa consiste na segmentação de fornecedores para que os esforços sejam aplicados em uma gama de fornecedores, aqueles classificados como mais críticos que assim necessitam de maior atenção. Por fim, aplica-se uma avaliação que irá gerar uma

classificação na qual será selecionado o fornecedor mais qualificado para realizar o pedido (DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001).

Outro modelo foi proposto por Araújo, Alencar e Viana (2015). No trabalho inicialmente foi realizado um levantamento dos critérios utilizados para avaliação de fornecedores nas indústrias alimentícias do Brasil. Em seguida, foi desenvolvido um modelo de seleção em seis passos, com base nesses critérios, e uma aplicação do modelo foi conduzida. Os autores descrevem os passos a serem seguidos do modelo da seguinte forma:

Passo 1: Criar um comitê de seleção: inicialmente, um grupo de tomadores de decisão deve ser formado e seus componentes devem estar familiarizados com as necessidades internas e externas da organização para assim representar todos os departamentos influenciados pelos fornecedores.

Passo 2: Identificação dos critérios: o comitê realiza um *brainstorming* para identificar os critérios de avaliação. Nesta fase, uma lista de referência pode ser dada aos membros do comitê para ajudá-los a determinar os melhores critérios para selecionar fornecedores.

Passo 3: Identificação de fornecedores potenciais: nesta etapa, o grupo deve emitir um aviso público de compras, realizar buscas em sites especializados de dados sobre indústrias e procurar informações sobre fornecedores em empresas que usam os mesmos produtos para determinar os potenciais fornecedores. Esses fornecedores serão as alternativas no modelo de decisão.

Passo 4: Pré-seleção: nessa fase, os fornecedores em potencial são avaliados de acordo com os critérios de avaliação definidos. Os fornecedores cujo desempenho está abaixo do nível aceitável para o objetivo são eliminados do processo, enquanto aqueles com níveis mais altos de desempenho, continuarão a competir.

Passo 5: Seleção de fornecedores: os fornecedores no topo do *ranking* resultantes do PROMETHEE-GDSS são selecionados e contratados pela empresa.

Estas sistemáticas visam ajudar a organização a escolher os fornecedores mais adequados as suas necessidades e a estabelecer ações como relacionamentos de longo prazo com os fornecedores mais qualificados (ARAÚJO; ALENCAR; VIANA, 2015).

A definição de uma estrutura mostra-se muito importante a fim de facilitar a gestão dos fornecedores, pois esse processo está em constante mudanças sendo

preciso estar sempre atualizando os dados. Outra questão importante é retornar os resultados aos fornecedores para que assim possam melhorar a performance e conseguir oferecer o insumo dentro dos critérios solicitados pelo cliente.

2.2 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DE FORNECEDORES

Muitos critérios podem ser utilizados no processo de avaliação de fornecedores: preço, qualidade, prazos de entrega, existência de serviços de pós-venda, localização geográfica do fornecedor, capacidade de resposta rápida a mudanças nos pedidos, *status* financeiro, *etc.* Portanto, a seleção de fornecedores pode ser caracterizada como um problema multicritério, cujos critérios poderão ser de natureza qualitativa ou quantitativa, dependendo do contexto em questão (TING; CHO, 2008).

Trabalhos, como de Ho, Xu e Dey (2010), mostram que preço ou custo não foram os critérios mais amplamente adotados, ao invés disso, o critério mais popular usado para avaliar o desempenho dos fornecedores foi a qualidade, seguido pela entrega. O que nos mostra uma mudança do tradicional que avaliava prioritariamente o critério custo e que não garante que todas as especificações dos clientes serão atendidas.

Zeydan, Çolpan e Çobanoğlu (2011) mostram que os critérios qualitativos e quantitativos sozinhos não são os instrumentos perfeitos para tomada de decisão. De acordo com a avaliação qualitativa do estudo apresentado pelos autores, a companhia deveria escolher o fornecedor um, mas deve estar pronta para enfrentar problemas potenciais como falhas do produto. Por outro lado, de acordo com a avaliação quantitativa, a companhia deveria escolher o fornecedor dois, mas nesse momento deve ter cuidado com o sistema de qualidade. Portanto, antes da seleção e avaliação do fornecedor, tanto os indicadores qualitativos quanto os quantitativos devem ser considerados juntos. Assim, os riscos não só serão minimizados como também será analisado de forma eficiente e eficaz.

O modelo proposto por Mirjani e Wahab (2013) adota quatro importantes critérios de seleção de fornecedores, propostos por acadêmicos e profissionais, sendo esses: sistema de gerenciamento, custo, qualidade e logística ou entrega. Lima-Junior, Osiro e Carpinetti (2014) definiram junto aos tomadores de decisão de uma

empresa os critérios qualidade, preço e entrega como critérios quantitativos e como qualitativos o perfil do fornecedor e a relação do fornecedor foram avaliados. De acordo com Sun *et.al* (2016), avaliar a reputação dos fornecedores possui grande importância, de acordo com eles, trabalhar com fornecedores confiáveis é um dos métodos mais eficazes para a empresa melhorar a competitividade na economia global.

Na pesquisa de Araújo, Alencar e Viana (2015), os gerentes identificaram os critérios que usam quando realizam a pré-seleção de fornecedores de longo prazo. Esses critérios são: entrega, preço, localização geográfica, capacidade produtiva, capazes de atender as especificações, capacidade de resposta, capacidades técnicas, desejo de entrar nos negócios, gestão de fornecedores e sistema de gerenciamento. Em seu trabalho ele descreve os critérios como o último sendo critério que tem medida subjetiva: bom (o fornecedor usa sistemas de gerenciamento na maioria dos processos), médio (o fornecedor usa regularmente os sistemas de gerenciamento) e baixo (o fornecedor não usa sistemas de gerenciamento).

No trabalho de Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2014) os autores apresentam uma tabela com diversos critérios importante para seleção de fornecedores utilizados na literatura. Dentre eles se destaca o critério capacidade técnica do fornecedor adotado por vários autores apresentados no trabalho.

Com o aumento da tecnologia da informação e a ampla adoção de sistemas de informação organizacional, as empresas possuem bancos de dados com registros sobre transações passadas com fornecedores, esses dados podem ser compilados em medidas quantitativas de desempenho que devem ser combinadas com a avaliação qualitativa de especialistas para apoiar de forma mais ampla a tomada de decisão no gerenciamento da base de suprimentos (SEGURA; MAROTO, 2017).

2.3 CRITÉRIOS SUSTENTÁVEIS

O desenvolvimento de cadeias de fornecimento sustentáveis pode ser realizado implantando boas práticas socioambientais nos departamentos de Suprimentos das organizações. Está relacionado às oportunidades como melhoria de produtividade da comunicação, encorajamento da inovação e outras, assim como na mitigação dos impactos negativos como danos ao meio ambiente, consumo excessivo de recursos

naturais, irregularidade nas relações trabalhistas, problemas com conduta ética, falta de segurança no trabalho, má gestão da qualidade e as ameaças de interrupções e falhas de fornecimento (KAYATT, 2018)

Em 1994 John Elkington desenvolveu o termo "*Triple Bottom Line*" (TBL) como um método para a medição do desempenho de sustentabilidade. O termo compreende a ideia de que as três dimensões (econômica, ambiental e social) precisam interagir de maneira holística para que os resultados de uma empresa de fato lhe atribuam o título de sustentável. As organizações que se envolvem em atividades que estão na interseção do desempenho social, ambiental e econômico, afetam positivamente o meio ambiente e a sociedade. Ao mesmo tempo, eles obtêm vantagem competitiva e sucesso econômico a longo prazo (ELKINGTON, 1994)

Para atender as crescentes pressões e demandas do mercado, as empresas estão começando a analisar sua cadeia de suprimentos e aprimorar seu perfil amplo de sustentabilidade. Hoje em dia, a sustentabilidade tornou-se uma preocupação significativa para empresas que integram questões ambientais e sociais em sua estratégia. As companhias estão conscientes da importância do desenvolvimento sustentável de seus parceiros e de que a sustentabilidade de qualquer organização é impossível sem incorporar as práticas sustentáveis em sua cadeia de fornecimento (GOVINDAN; KHODAVERDI; JAFARIAN, 2013).

À medida que a empresa cresce, aumenta o compromisso de uma atuação responsável. Uma das maiores questões que as empresas enfrentam hoje é a de ajudar os seus fornecedores na busca por ações que façam com que seja reconhecida a importância dos aspectos sustentáveis (AGERON; GUNASEKARAN; SPALANZANI, 2011).

Nesse contexto, alguns estudos que consideram critérios do TBL (particularmente a dimensão ambiental) na seleção de fornecedores estão sendo publicados (DOBOS; VÖRÖSMARTY, 2014; SANG; LIU, 2014; WANG CHEN et al., 2016; RAJEEV et al., 2017; TSUI; WEN, 2014). No entanto, na primeira pesquisa realizada observou-se uma carência na literatura de estudos que sustentem a abordagem das três dimensões (econômica, social e ambiental) em uma mesma avaliação de fornecedor, registrando assim uma lacuna para novos trabalhos.

Dessa forma, realizou-se uma pesquisa de estudos específicos de seleção de fornecedor utilizando critérios sustentáveis e encontrou-se alguns trabalhos nos quais

foram utilizados critérios envolvendo termos sociais, ambientais e econômicos para medir a qualificação dos fornecedores (GOVINDAN; KHODAVERDI; JAFARIAN, 2013; ÖZTÜRK; ÖZÇELİK, 2014; FAISAL; AL-ESMAEL; SHARIF, 2017; AWASTHI; GOVINDAN; GOLD, 2018).

Wang Chen et. al (2016) apontam que devido ao aumento da conscientização pública sobre questões ambientais e regulamentações governamentais, o gerenciamento da cadeia de abastecimento verde tornou-se um aspecto importante para as empresas obterem sustentabilidade ambiental. Em seu trabalho usando os critérios da literatura e as discussões com os principais gerentes e chefes de departamento de uma empresa, cinco critérios de economia e meio ambiente foram escolhidos para a seleção de fornecedores verdes. Os critérios econômicos incluem preço do produto, sistema de qualidade ISO e *lead time* e para a avaliação ambiental foram definidos o critério tecnologia verde e certificado ambiental. Já Dobos e Vörösmarty (2014) utilizaram em sua aplicação critérios ambientais como porcentagem de reutilização e emissão de CO₂.

No trabalho de Govidan, Khodaverd e Jafarian (2013) foi proposto um modelo e ilustrado por um exemplo no qual são utilizados critérios econômicos (custo, confiabilidade da entrega, prazo de entrega, qualidade e capacidade tecnológica), ambientais (produção de poluição, consumo de recursos, eco-design e sistema de gestão ambiental) e sociais (medidas sociais internas, práticas de emprego, saúde e segurança e influência nas comunidades locais). Os autores mostraram que com base na implementação da avaliação sustentável de fornecedores, as empresas podem identificar e priorizar oportunidades para melhorar seus desempenhos em sustentabilidade o que pode levar a uma redução do impacto ambiental e impactos sociais de suas atividades.

No trabalho de Faisal, Al-Esmael e Shari (2017) foi desenvolvido um modelo de decisão multicritério que considera simultaneamente o impacto das três dimensões do TBL para seleção de fornecedores, no aspecto social por exemplo são usados critérios como iniciativas comunitárias, comportamento ético, saúde e segurança e diversidade no local de trabalho. Os autores também reforçam que tradicionalmente, a seleção de fornecedores é baseada em variáveis como custo, qualidade e prazo de entrega, que são parte de uma única dimensão econômica. No entanto, a demanda de sustentabilidade requer melhorias nas outras duas dimensões.

No Quadro 1 podemos observar critérios do TBL utilizados na literatura para avaliação e seleção de fornecedores. Esse quadro pode ser utilizado como folha de verificação para auxílio na escolha dos critérios sustentáveis.

Quadro 1 – Critérios sustentáveis utilizados na literatura

| Dimensão | Critério | Tipo | Referência |
|-------------------|---|-----------------------------|--|
| Econômica | Capacidade atual | Quantitativo | Tsui e Wen (2014) |
| | Capacidade de embalagem | Quantitativo | Santos, Osiro e Lima (2017) |
| | Competência do representante de vendas | Qualitativo | Souza et al. (2010) |
| | Custo do pedido | Quantitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Custo do produto | Quantitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Custos logísticos | Quantitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Design | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Estabilidade Financeira | Qualitativo | Tsui e Wen (2014) |
| | Facilidade de comunicação | Qualitativo | Mohammadi et al. (2017) |
| | Flexibilidade do Fornecedor | Qualitativo | Mohammadi et al. (2017) |
| | Lead time | Quantitativo | Wang Cheng et. al (2016) |
| | Nível de tecnologia | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Pesquisa e desenvolvimento | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Prazo de entrega | Quantitativo | Rezaei, Wang e Tavasszy (2015) |
| | Prazos e condições de pagamento | Qualitativo | Souza et al. (2010) |
| | Qualidade do produto | Quantitativo | Santos, Osiro e Lima (2017) |
| | Sistema de cobrança e processamento dos pedidos | Qualitativo | Santos, Osiro e Lima (2017) |
| | Sistema de Gestão da Qualidade | Qualitativo | Wang Cheng et. al (2016) |
| Suporte pós-venda | Qualitativo | Santos, Osiro e Lima (2017) | |
| Taxa de rejeição | Quantitativo | Mohammadi et al. (2017) | |
| Ambiental | Capacidade de redução da poluição | Qualitativo | Mohammadi et al. (2017) |
| | Certificação ISO14001 | Qualitativo | Wang Cheng et. al (2016) |
| | Consumo de água | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Consumo de energia | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Destinação | Quantitativo | Humphreys, Wong e Chan (2003) |

| | | | |
|-------------------|--|-----------------------------|---|
| | Emissão de CO2 | Quantitativo | Dobos e Vorosmarty (2014) |
| | Logística reversa | Quantitativo | Faisal, Al-Esmael e Shari, (2017) |
| | Planejamento ambiental | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Políticas ambientais | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Reciclagem | Qualitativo | Faisal, Al-Esmael e Shari (2017) |
| | Redução de resíduos | Qualitativo | Faisal, Al-Esmael e Shari (2017) |
| | Reuso | Qualitativo | Dobos e Vorosmarty (2014) |
| | Tecnologias Verde | Qualitativo | Wang Cheng et. al (2016) |
| Social | Apoio a instituições educacionais | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Arranjos de trabalho flexíveis | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Ausência de discriminação, assédio ou abuso | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012). |
| | Comportamento ético | Qualitativo | Faisal, Al-Esmael e Shari (2017) |
| | Diversidade no local de trabalho | Quantitativo | Faisal, Al-Esmael e Shari (2017) |
| | Envolvimento dos stakeholders | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Infraestrutura para educação | Qualitativo | Özturk e Özçelik (2014) |
| | Iniciativas comunitárias | Qualitativo | Faisal, Al-Esmael e Shari (2017) |
| | Não utilização de trabalho infantil ou forçado | Qualitativo | Brammer e Walker (2011) |
| | Oportunidades de emprego | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Padrões de parceria | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Plano de carreira | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Programas de prevenção de acidentes | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012). |
| | Remuneração laboral | Qualitativo | Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2012) |
| | Respeito e honestidade mútua | Qualitativo | Santos, Osiro e Lima (2017) |
| Saúde e segurança | Qualitativo | Tsui e Wen (2014) | |
| Transparência | Qualitativo | Santos, Osiro e Lima (2017) | |

Fonte: Da autora, 2017

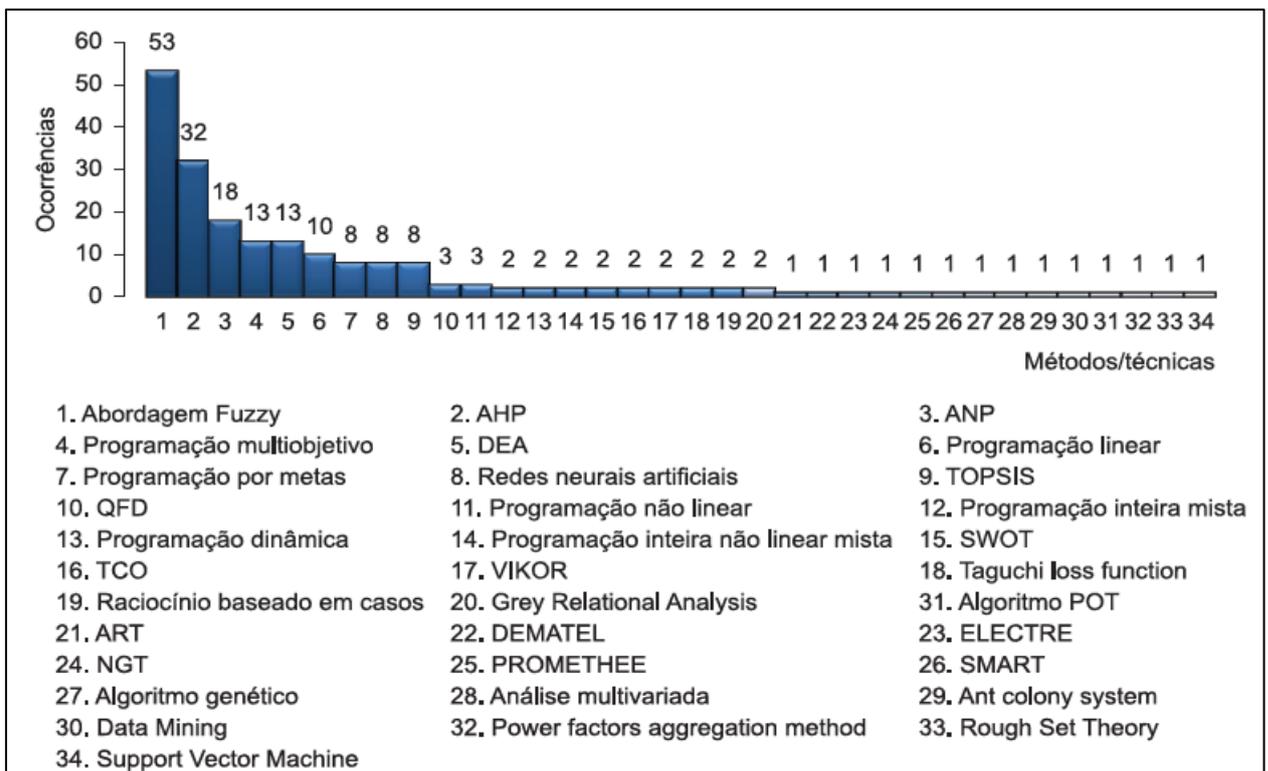
2.4 MÉTODOS DE DECISÃO MULTI CRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE FORNECEDORES

Os problemas de tomada de decisão do mundo real geralmente são muito complexos e mal estruturados para serem considerados através do exame de um

único critério que levará à decisão ideal. Uma abordagem mais atraente seria a consideração simultânea de todos os fatores pertinentes relacionados ao problema. Os MCDM constituem um campo avançado de pesquisa operacional dedicado ao desenvolvimento e implementação de ferramentas e metodologias de apoio à decisão para enfrentar problemas complexos de decisão envolvendo múltiplos critérios, metas ou objetivos de natureza conflitante (KAHRAMAN; ONAR; OZTAYSI, 2015).

A literatura identifica diversos métodos MCDM que podem ser utilizados em modelos simples ou modelos combinados. Lima Junior, Osiro, Carpinetti (2013) realizaram uma revisão da literatura buscando trabalhos publicados de 2002 a 2011 sobre métodos de decisão multicritérios para seleção de fornecedores. No trabalho foram analisados 120 artigos dos quais, foram extraídas informações como método(s) utilizado(s) no desenvolvimento do modelo, setor econômico da empresa em que foi aplicado, país de origem, critérios utilizados, entre outras informações pertinentes. De acordo com o estudo, os modelos baseados na teoria dos conjuntos *fuzzy* compõem o método MCDM mais utilizado isoladamente e em combinação com outros métodos, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Métodos MCDM por número de ocorrências



Fonte: Lima Junior, Osiro, Carpinetti, 2013

A fim de completar a revisão sobre os MCDM, foi realizada uma pesquisa de estudos mais recentes (2013 a 2017) na plataforma *Web of Science*. De acordo com os resultados, verificou-se que dos 67 artigos publicados a partir de 2013, 60% são dos últimos dois anos (2016-2017), reforçando a procura atual sobre o assunto. A utilização da abordagem *fuzzy* manteve destaque dentre os estudos, sendo utilizada em 70 % dos trabalhos.

A abordagem *fuzzy* surgiu da ausência de teorias que utilizem tratamentos matemáticos clássicos para certas variáveis utilizadas no dia-a-dia, transmitidas e compreendidas linguisticamente entre interlocutores. Tais variáveis são chamadas variáveis linguísticas e são adequadas para distinguir qualificações por meio de graduações (“desempenho ruim”, “desempenho bom”, “desempenho ótimo”) (BARROS; BASSANEZI, 2006; CELIKYLMAZ; TÜRKSEN, 2009; LIMA JUNIOR; OSIRO e CARPINETTI, 2013). Dessa forma, conforme observado na revisão realizada por Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2013) a pesquisa confirma a atenção dos pesquisadores em métodos que são, teoricamente, mais adequados para situações de incerteza predominantemente.

Na pesquisa também observou-se que na maioria dos trabalhos são usadas combinação de duas ou três técnica diferentes, isso pode ser entendido devido à complexidade do processo decisório e além disso, observou-se trabalhos que comparam esses métodos a fim de avalia-los quando aplicados no problema de seleção de fornecedores (LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2014; WOOD, 2016; CHAI; LIU; NGAI, 2013).

Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2014) realizaram uma análise comparativa dos métodos *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPISIS. Ambos métodos foram aplicados na seleção de fornecedores de uma companhia de produção automotiva, para isso utilizou-se os métodos para definição dos pesos dos critérios e posteriormente para classificação dos fornecedores. Concluíram que o *fuzzy* TOPSIS tem melhor performance que o *fuzzy* AHP na maioria dos casos, exceto quando há poucos critérios e fornecedores.

Ortiz-Barrios (2017) realizou um estudo para definir o fornecedor mais adequado de polietileno de alta densidade através da integração de métodos de tomada de decisão. Para este fim, o método *Fuzzy Analytical Hierarchical Process* (FAHP) é inicialmente aplicado na definição dos pesos de critérios e subcritérios, seguido do uso do método *Decision Making Trial and Evaluation*

Laboratory (DEMATEL) para avaliar inter-relações entre os elementos da hierarquia. Então, depois de combinar FAHP e DEMATEL para calcular as contribuições finais dos critérios e subcritérios, a técnica Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) é usada para avaliar as alternativas de fornecimento. Além disso, este trabalho também explora as diferenças entre os julgamentos dos tomadores de decisão para os métodos AHP e DEMATEL. Para isso, um estudo de caso é apresentado.

Tsui e Wen (2014) apresentaram como objetivo, desenvolver um procedimento de seleção de fornecedores verdes para a indústria de transistores de película fina (TFT-LCD) usando fornecedores de polarizadores como exemplo. Primeiro, um quadro de decisão para a seleção de fornecedores verdes foi desenvolvido com base na literatura e formulários de auditoria de fornecedores fornecidos por um fabricante de tela em Taiwan. Em seguida, é proposto um método híbrido de tomada de decisão com base AHP, entropia, eliminação e usando a ferramenta ELECTRE III.

Dessa forma, pode-se observar diversos métodos de decisão multicritério para serem usados na avaliação e seleção de fornecedores. O conceito dos métodos escolhidos para serem usados no modelo proposto serão apresentados na sequência. A principal vantagem da escolha desses métodos é sua facilidade e aplicabilidade sobre os demais vistos na literatura. Além disso proporcionam confiáveis de acordo com a literatura existente.

2.5 FUZZY AHP (FAHP)

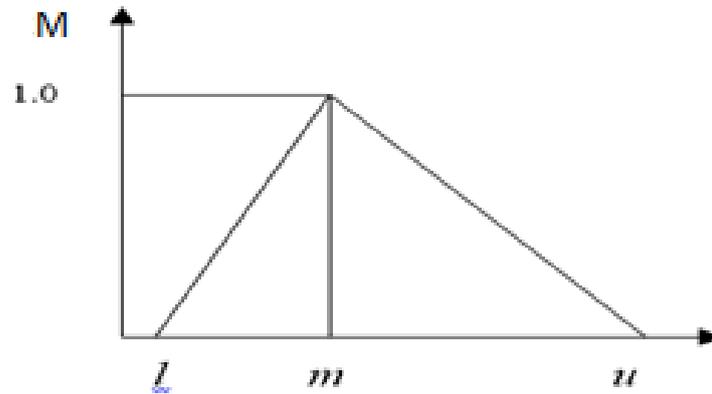
A abordagem *fuzzy* AHP é basicamente a combinação dos dois conceitos: teoria dos conjuntos *fuzzy* e AHP. A teoria dos conjuntos *fuzzy* se assemelha ao raciocínio humano em seu uso de informações aproximadas e incerteza para gerar decisões. Possui a vantagem de representar matematicamente a incerteza e imprecisão fornecendo ferramentas formalizadas para lidar com a imprecisão intrínseca a muitos problemas. De acordo com Chan et al. (2008), a principal contribuição da teoria dos conjuntos *fuzzy* é a sua capacidade de representar dados vagos. Um conjunto *fuzzy* é caracterizado por uma função de pertencimento, que atribui a cada objeto uma nota de associação variando entre 0 e 1. Neste conjunto, os

termos gerais, como "grande", "médio" e "pequeno", serão usados para capturar uma variedade de valores numéricos (CHAN et al., 2008).

A técnica AHP é muito conhecida para decisões multicritérios. Na AHP tradicional, a comparação par a par é feita usando uma escala de nove pontos (1-9) que converte as preferências humanas entre as alternativas disponíveis: igualmente, moderadamente, fortemente, muito forte ou extremamente preferido. Assim, o AHP usa apenas números de escala absoluta para julgamentos e para as prioridades resultantes. Embora a escala discreta da AHP tenha vantagens de simplicidade e facilidade de uso, não é suficiente devido a sua incapacidade de lidar adequadamente com a incerteza inerente e a imprecisão associada ao mapeamento da percepção do tomador de decisão em números exatos, em muitos casos práticos, o modelo de preferência humana é incerto e os tomadores de decisão podem ser relutantes ou incapazes de atribuir valores numéricos exatos aos julgamentos de comparação. Para eliminar essa limitação, a teoria dos conjuntos *fuzzy* é combinada por ser capaz de abordar a incerteza e a imprecisão do processo de avaliação (CHAN et al., 2008).

A abordagem *extent analysis method* proposta por Chang (1996), foi utilizada nesse trabalho. Nesse método primeiramente os números *fuzzy* triangulares (TFN) são usados em pares como escala de comparação. Em seguida, usando o *extent analysis method*, o valor de extensão sintética S_i da comparação é introduzido e aplicado o princípio da comparação de números *fuzzy*.

Um conjunto *fuzzy* é representado por M . Se l , m e u , respectivamente denotar o menor valor possível, o valor mais característico e o maior valor possível que descrevem um evento *fuzzy*, então um TFN pode ser denotado como um trio (l, m, u) , conforme mostrado na Figura 3 (CHAN et al., 2008).

Figura 3 – Representação número *fuzzy* triangular, M 

Fonte: Chan et al., 2008

A seguir algumas definições de número triangular fuzzy são apresentadas.

Definição 1: A função de associação de um TFN associado a um número real no intervalo $[0, 1]$ pode ser definida como (CHAN et al., 2008):

$$\mu(x|M) = \begin{cases} \frac{x}{m-l} - \frac{l}{m-l}, & x \in [l, m] \\ \frac{x}{m-u} - \frac{u}{m-u}, & x \in [m, u] \\ 0, & \text{outros} \end{cases} \quad (1)$$

Definição 2: A altura de um conjunto *fuzzy* é a maior nota de associação obtida por qualquer elemento desse conjunto. Um conjunto *fuzzy* M no universo do discurso Y é chamado de normalizado quando a altura de M é igual a 1 (CHAN et al., 2008)..

Definição 3: Uma matriz U é chamada de matriz *fuzzy* se pelo menos um elemento é um número *fuzzy* (CHAN et al., 2008).

Se $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ e $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ são dois números *fuzzy* triangulares, então as leis operacionais deles podem ser expressas da seguinte forma:

$$M_1 \oplus M_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2)$$

$$M_1 \odot M_2 = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad (3)$$

$$\lambda \odot M_1 = (\lambda l_1, \lambda m_1, \lambda u_1), \text{ onde } \lambda > 0, \lambda \in R \quad (4)$$

$$M_1^{-1} = \left(\frac{1}{l_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{u_1} \right) \quad (5)$$

A abordagem *fuzzy* AHP usada neste trabalho é discutida da seguinte maneira:

Se o conjunto de objetos for representado como $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ e o objetivo definido como, $u = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, então, de acordo com o conceito de análise estendida de Chang (1996) cada objeto é tomado e o método de análise estendida para cada meta U_i é realizado. As operações algébricas em números *fuzzy* triangulares seguem a mesma regra matemática e definições discutidas anteriormente (CHAN et al., 2008).

Definição 4: O valor da medida sintética *fuzzy* em relação ao i -ésimo objeto é definido como (CHAN et al., 2008):

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \odot \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (6)$$

O grau de possibilidade de $M_1 \geq M_2$ está definido como:

$$V(M_1 \geq M_2) = \sup_{x \geq y} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (7)$$

quando existe um par (x, y) tal que $x \geq y$ e $M_1(x) = M_2(y) = 1$.

Desde que M_1 e M_2 sejam números *fuzzy* convexos, então:

$$V(M_1 \geq M_2) = 1 \text{ se } n_{11} \geq n_{21} \quad (8)$$

e

/

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = M_1(d) \quad (9)$$

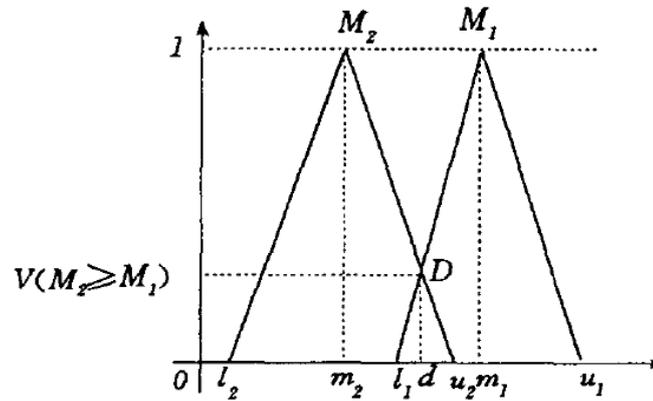
onde d é a ordenada do ponto mais alto de interseção D entre M_1 e M_2 (mostrado na Figura 4).

Quando $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ e $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ então a ordenada D é calculada por:

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} \quad (10)$$

Para a comparação de M_1 e M_2 , são necessários os valores de $V(M_1 \geq M_2)$ e $V(M_2 \geq M_1)$.

Figura 4 – Ordenada do ponto mais alto de interseção D entre M_1 e M_2



Fonte: Chang, 1996

Definição 5: A possibilidade de grau para um número *fuzzy* convexo ser maior do que k números *fuzzy* convexos M_i ($i=1, 2, \dots, k$) podem ser definidos por

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= V[(M \geq M_1) e (M \geq M_2) e \dots (M \geq M_k)] \\ &= \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k. \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{se } d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), \quad (12)$$

para $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$. Então o vetor peso é dado por

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (13)$$

onde W é um número não *fuzzy* (*crisp*) e isso dá os pesos individuais de uma alternativa em relação a outra (CHAN et al., 2008).

Normalizando os pesos dos vetores temos,

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (14)$$

Onde W é um vetor de número *crisp* (CHAN et al., 2008).

2.5.1 Avaliação de consistência dos dados

Saaty (1980) diz que em muitas comparações entre pares, algumas inconsistências podem surgir. Dessa forma, deve-se determinar se a matriz de comparação é consistente. Este é um passo importante do AHP para assegurar que as comparações sejam coerentes e não tenham sido feitas de forma aleatória. Dessa forma, nesse trabalho foi realizada a avaliação de consistência para os dados coletados.

A Equação 15 mostra como calcular o índice de consistência da matriz de comparação A , expressa em $IC(A)$.

$$IC(A) = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (15)$$

Na Equação 15 o $\lambda_{m\acute{a}x}$ é o autovalor máximo da matriz A . Neste trabalho calcula-se $\lambda_{m\acute{a}x}$ usando a Equação 16.

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{w_j a_{ij}}{w_i} \quad (16)$$

Finalmente, a Equação 17 pode ser usada para calcular a taxa de consistência (CR), que é a razão entre $IC(A)$ e um índice aleatório RI_n que varia de acordo com o número de critérios n .

$$CR = \frac{IC(A)}{RI_n} \quad (17)$$

A Tabela 1 mostra valores para RI desenvolvidos por Saaty (1990) para n variando de 1 a 10. Como regra geral, se $CR < 0,1$, então a matriz de comparação é considerada suficientemente consistente e os pesos relativos refletem as preferências do especialista expresso na matriz de comparação.

Tabela 1 – Valores de RI

| n | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,51 |

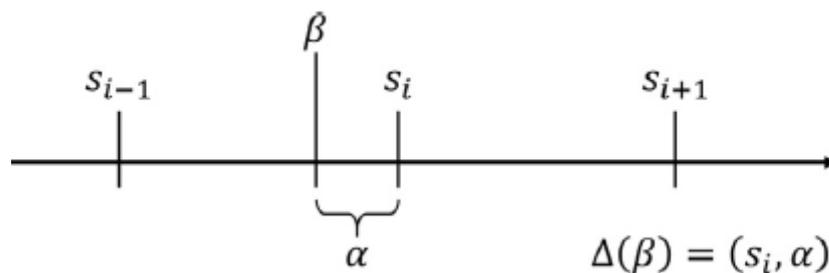
Fonte: Saaty, 1990

2.6 FUZZY 2-TUPLE

O método *fuzzy 2-tuple* é um modelo de representação linguística *fuzzy* proposto por Herrera e Martinez (2000a), que usa operadores de agregação sem perda de informação, pois consiste em tratar aspectos qualitativos que são representados por meio de variáveis linguísticas, uma vez que representar numericamente avaliações nem sempre é a melhor e forma mais usual (SANTOS; OSIRO; LIMA, 2017).

A abordagem *fuzzy 2-tuple* representa informação linguística por meio de um par de valores (s_i, α) . O valor s_i é um termo linguístico pré-definido de S e representa o centro da informação do termo linguístico. O elemento α expressa o valor da translação do resultado original de uma operação de agregação β para o índice mais próximo i no termo linguístico definido em S . Daí a chamada de translação simbólica. A Figura 5 mostra como o valor numérico α representa a diferença de informação entre o resultado de agregação β e o termo linguístico mais próximo (SANTOS; OSIRO; LIMA, 2017).

Figura 5 – Diferença de informação entre o resultado de agregação β e o termo linguístico mais próximo



Fonte: Herrera e Martinez 2000^a

Se $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ seja um conjunto de termos linguísticos e $\beta \in [0, g]$ seja o resultado de uma operação de agregação, então a representação de β no *2-tuple* pode ser obtida com a Equação 18.

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha) \tag{18}$$

Com

$$i = \text{arredondamento}(\beta) \text{ e } \alpha = \beta - i, \alpha \in [-0,5; 0,5] \quad (19)$$

Segundo Herrera e Martinez (2000b), qualquer variável quantitativa pode ser representada por *2-tuple* linguísticas sem qualquer perda de informação, desde que S satisfaça três condições e que as variáveis quantitativas sejam normalizadas para $\vartheta \in [0, 1]$. Seja $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ um conjunto de termos linguísticos que satisfaça as seguintes condições:

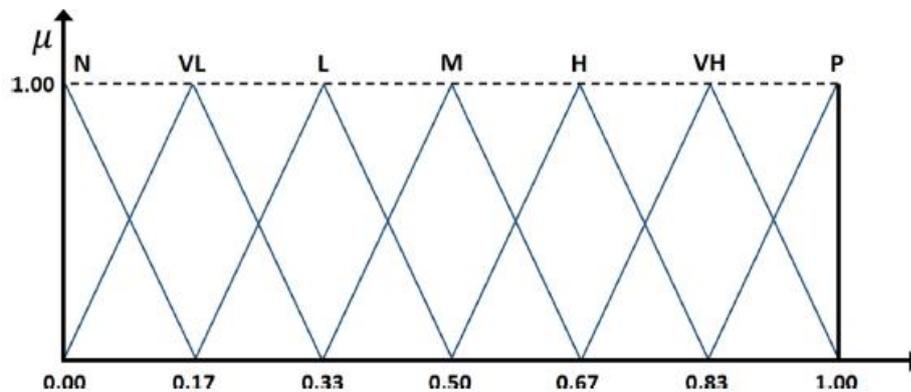
1. S é uma partição *fuzzy*, ou seja, com $x \in [0, 1]$, temos $\sum_{i=1}^g \mu_{s_i}(x) = 1, \forall x \in X$.
2. As funções de associação de todos os seus termos são triangulares, ou seja, $S_i = (l_i, m_i, u_i)$.
3. O grau máximo de associação m_i que corresponde à função de associação do valor característico é igual a 1. Em outras palavras, se $CV(s_i) = x$ então $\mu_{s_i}(x) = 1$.

Estas três condições são necessárias e suficientes para as transformações entre os valores $\vartheta \in [0, 1]$ e as *2-tuple* linguísticas. O grau de pertinência do termo linguístico i , expresso como μ_{s_i} , é definido como:

$$\mu_{s_i}(\vartheta) = \begin{cases} 0, & \text{se } \vartheta \leq l_i \text{ ou } \vartheta \geq u_i \\ \frac{\vartheta - l_i}{m_i - l_i}, & \text{se } \vartheta \leq m_i \\ \frac{u_i - \vartheta}{u_i - m_i}, & \text{se } \vartheta > m_i \end{cases} \quad (20)$$

No método *2-tuple*, cada termo linguístico é associado a um número para efeito dos cálculos. Herrera e Martinez (2000b) propõem o conjunto linguístico S com 7 termos: Nada (N), Muito baixo (VL), Baixo (L), Médio (M), Alto (H), Muito alto (VH) e Perfeito (P), estes serão os termos utilizados nesse trabalho. Portanto, o conjunto S pode ser expresso como sendo o conjunto linguístico $S = \{s_0 = N, s_1 = VL, s_2 = L, s_3 = M, s_4 = H, s_5 = VH, s_6 = P\}$ e funções de pertinência paramétricas triangulares, de parâmetros (l_i, m_i, u_i) conforme ilustração da Figura 6, na qual a semântica dos termos é dada por números *fuzzy* definidos no intervalo $[0,1]$. Este número refere-se à sequência de termos linguísticos.

Figura 6 – Esquema de associação dos termos linguísticos a um número triangular fuzzy



Fonte: Herrera e Martinez, 2000a

Nothing (N) = $(l_0 = 0, m_0 = 0, u_0 = 0,17) = S_0$;

Very Low (VL) = $(l_1 = 0, m_1 = 0,17, u_1 = 0,33) = S_1$;

Low (L) = $(l_2 = 0,17, m_2 = 0,33, u_2 = 0,5) = S_2$;

Medium (M) = $(l_3 = 0,33, m_3 = 0,5, u_3 = 0,67) = S_3$;

High (H) = $(l_4 = 0,5, m_4 = 0,67, u_4 = 0,83) = S_4$;

Very High (VH) = $(l_5 = 0,67, m_5 = 0,83, u_5 = 1) = S_5$;

Perfect (P) = $(l_6 = 0,83, m_6 = 1, u_6 = 1) = S_6$.

Na avaliação de fornecedores a representação linguística *fuzzy 2-tuple* é considerada apropriada dada a sua capacidade de trabalhar com variáveis quantitativas e qualitativas nas operações de agregação. Dessa forma, consegue-se levantar dados quantitativos para avaliação pelo histórico de desempenho do fornecedor e demais especialistas em compras podem julgar qualitativamente os fornecedores, associando assim todas as informações necessárias (SANTOS; OSIRO; LIMA, 2017).

Os pesos determinados na etapa de nivelamento de cada critério podem ser combinados com as avaliações em uma representação contínua β para calcular o *ranking* de todos os fornecedores em ambas as dimensões, a linguística *2-tuple* permite o uso de diferentes operadores de agregação. Neste trabalho, usamos o operador de média ponderada proposto por Herrera e Martinez (2000a), pois se justifica devido à sua simplicidade e compatibilidade com o uso de pesos de diferentes

critérios determinados pelo AHP. A representação contínua das avaliações de cada fornecedor pode ser convertida em *2-tuple* usando a Equação 21.

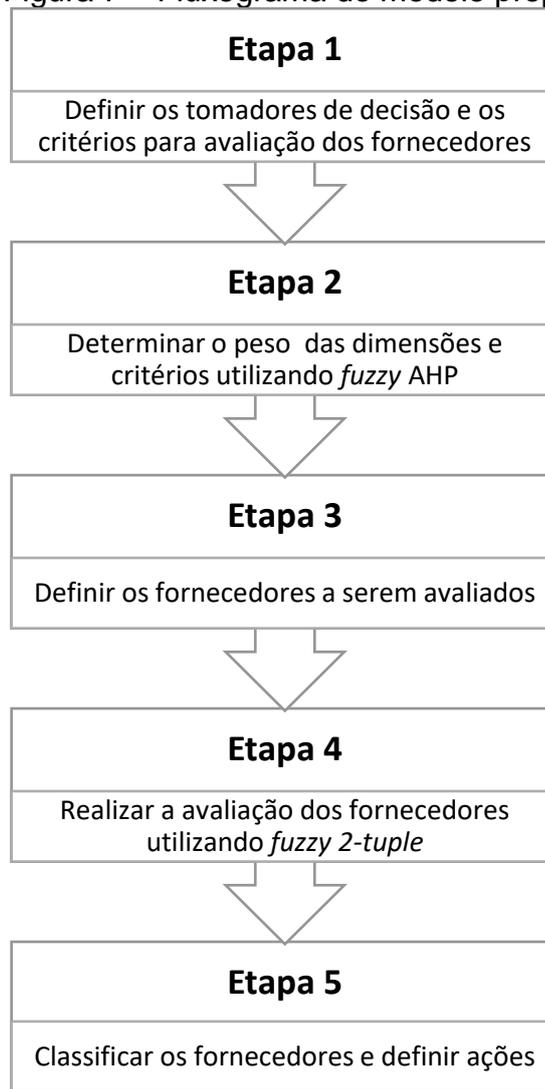
Seja $S = \{(s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)\}$ um conjunto *2-tuple* e $\{\beta_1, \dots, \beta_n\}$ seja sua representação contínua. Para um vetor de ponderação $w = \{w_1, \dots, w_n\}$, onde $0 \leq w_i \leq 1$ e $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, a média ponderada de *2-tuple* é:

$$\bar{x} = \Delta(\sum_{i=1}^n w_i * \beta_i) \quad (21)$$

3 PROPOSTA DE MODELO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES

O modelo proposto é dividido em cinco etapas, conforme demonstrado na Figura 7. Em resumo, a primeira etapa consiste na seleção dos tomadores de decisão (DMs – *Decision Makers*), em seguida define-se os critérios sustentáveis que serão usados para avaliar os fornecedores, na sequência a abordagem *fuzzy* AHP é usada para determinar os pesos relativos as dimensões do TBL e critérios. Posteriormente, dados quantitativos e os julgamentos de especialistas são coletados na etapa 4 para alimentar o *fuzzy 2-tuple* e calcular a avaliação final de cada fornecedor. Por fim, gera-se um *ranking* dos fornecedores e os tomadores de decisão analisam os resultados para definir as ações para melhorar sua gestão de fornecedores.

Figura 7 – Fluxograma do modelo proposto



Fonte: Da autora, 2018

3.1 DEFINIÇÃO DOS TOMADORES DE DECISÃO E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

A primeira etapa do modelo consiste na definição dos DMs, ou seja, escolher as pessoas responsáveis por definir quais critérios devem ser usados na avaliação dos fornecedores e a realizar. A escolha desses responsáveis é de extrema importância para que os resultados sejam coerentes com os objetivos da empresa.

A primeira tarefa do grupo de DMs é definir os critérios a serem utilizados na avaliação dos fornecedores, vale ressaltar que os tomadores de decisão devem focar esforços no estabelecimento de critérios que estejam relacionados diretamente com a estratégia da empresa.

De acordo com o discutido no item do 2.3 desse trabalho, existem muitos critérios na literatura representando as visões de sustentabilidade, conforme apresentado no Quadro 1. Em posse desses critérios, os tomadores de decisão selecionam os critérios mais importantes para avaliação dos fornecedores, para que na próxima etapa sejam comparados e nivelados com o uso da abordagem *fuzzy* AHP.

3.2 DEFINIÇÃO DOS PESOS UTILIZANDO *FUZZY* AHP

Após a definição dos critérios de avaliação, a importância de cada um é determinada utilizando a técnica *fuzzy* AHP.

Assim como no estudo de Ganguly e Guin (2013), nesse modelo é utilizada a escala comparativa em termos linguísticos representados por funções de pertinência triangulares conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Escala comparativa em termos linguísticos usada no modelo

| Julgamento Linguístico | Número triangular <i>fuzzy</i> correspondente | Inverso do julgamento linguístico | Inverso do número triangular <i>fuzzy</i> correspondente |
|------------------------------------|--|--|---|
| Igual importância | (1/2, 1, 3/2) | Igual importância | (2/3, 1, 2) |
| Levemente mais importante | (1, 3/2, 2) | Levemente menos importante | (1/2, 2/3, 1) |
| Mais importante | (3/2, 2, 5/2) | Menos importante | (2/5, 1/2, 2/3) |
| Significativamente mais importante | (2, 5/2, 3) | Significativamente menos importante | (1/3, 2/5, 1/2) |
| Extremamente mais importante | (5/2, 3, 7/2) | Extremamente menos importante | (2/7, 1/3, 2/5) |

Fonte: Ganguly e Guin, 2013

Nesse contexto, os tomadores de decisão irão avaliar par a par a importância relativa as dimensões e critérios adotados de acordo com os termos linguísticos descritos na Tabela 2. Dessa avaliação é gerada a matriz de avaliação com os termos linguísticos obtidos dos julgamentos e posteriormente, utilizando os valores *fuzzy* da Tabela 2, a matriz é convertida em números *fuzzy* triangulares. Nesse momento realiza a verificação da consistência desses dados.

Em seguida a matriz de agregação das preferências dos avaliadores é gerada. Nessa fase é utilizada a média aritmética entre os números *fuzzy*.

A próxima etapa consiste no cálculo da medida sintética S_i utilizando as medidas de M_{gi}^j . Após obter esses dados, calcula-se o grau de possibilidade que quantifica o quanto cada objeto é preferível sobre todos os objetos. Posteriormente, agrega-se esses dados obtendo a preferência global de cada objeto ($d'(A_i)$) de cada uma das interações.

Por fim, obtém-se o vetor peso dos critérios e após normalização obtém-se o vetor peso normalizado, sendo W um vetor com valores crisp.

3.3 DEFINIÇÃO DOS FORNECEDORES AVALIADOS

Nessa etapa são escolhidos os fornecedores que serão avaliados. Para isso é realizada uma análise dos itens a serem comprados e através de uma segmentação consegue-se escolher os fornecedores de itens estratégicos, ou seja, itens que tenham maior impacto para a empresa e devem ser avaliados a priori.

Essa etapa é sugerida para facilitar a análise dos dados e para que a empresa inicie a avaliação de seus fornecedores naqueles que tenham maior impacto para a companhia e analisando os dados adotem melhorias nos procedimentos de gestão.

3.4 AVALIAR OS FORNECEDORES UTILIZANDO FUZZY 2-TUPLE

Na quarta etapa do modelo será realizada a avaliação dos fornecedores. Após definição dos critérios e seus respectivos pesos, deve-se coletar dados do histórico dos fornecedores para critérios quantitativos, os quais precisam ser normalizados para $\vartheta \in [0, 1]$ e permitir a representação *2-tuple*.

Para os critérios qualitativos os tomadores de decisão irão avaliar os fornecedores de acordo com os critérios definidos na primeira etapa desse trabalho e utilizando os termos linguísticos do grupo $S = \{\text{Nada (N), Muito baixo (VL), Baixo (L), Médio (M), Alto (H), Muito alto (VH) e Perfeito (P)}\}$ descritos no item 2.6.

A conversão para a representação contínua β deve ser realizada e em seguida os pesos determinados na etapa dois para cada dimensão e critério podem ser combinados com β usando o método da média ponderada para calcular a pontuação de todos. A representação contínua das avaliações de cada fornecedor é convertida em *2-tuple*. Dessa forma consegue-se montar o *ranking* dos fornecedores.

Por fim, são analisados os dados obtidos e discutido os resultados junto aos responsáveis da empresa para que possam validar as informações e assim utiliza-las na melhoria da gestão de suprimentos.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 A EMPRESA

A empresa estudada é uma produtora de fertilizantes nacional, que atende desde 1971 as necessidades das mais diversas culturas e o mercado de nutrição animal. Pertence a um Grupo de 6 unidades de fabricação, esse trabalho foi aplicado na maior das unidades a qual compõem todos os processos corporativos, como o setor de Suprimentos por exemplo. O Grupo atua em diversos seguimentos, com mais de 460 produtos, a empresa atende às necessidades das culturas agrícolas, oferecendo fertilizantes foliares, inoculantes, adjuvantes, acaricidas, biofertilizantes, fertilizantes organominerais, condicionadores de solo, sais e soluções. Além disso, está presente, por meio de seus produtos, no mercado de nutrição animal e até em outros segmentos industriais importantes – dentre eles, o de produtos alimentícios, papel e celulose, sucroalcooleiro, cerâmicas, corantes, curtumes, fertilizantes minerais e orgânicos, galvanização e galvanoplastia, gráficos, pirotécnicos, pneus e borrachas, siderúrgicos, tintas e vernizes.

O Grupo possui a visão de ser reconhecida como a melhor empresa na entrega de produtividade via desempenho de plantas, criando, capturando e compartilhando valor para clientes, acionistas, colaboradores e para o planeta. Dessa forma, o desenvolvimento sustentável vem sendo adotado por meio de ações sustentáveis e constantes que permeiam toda a organização, dentre elas a gestão dos fornecedores.

A companhia produz diversos produtos, os quais envolvem muitas matérias primas diferentes. Os fornecedores do Grupo são agrupados conforme suas características de fornecimento, tais como: matéria-prima, embalagens, consumos diversos, serviço, materiais de manutenção e ativos. O Grupo conta com aproximadamente 8 mil fornecedores em sua cadeia de fornecimento, sendo 6.800 fornecedores ativos.

Na unidade na qual foi aplicado o estudo de caso, os principais produtos são os fertilizantes químicos, que requerem o acompanhamento de vários parâmetros das matérias primas, pois afetam diretamente na qualidade do produto final. Além disso, as matérias primas apresentam um alto impacto no custo do produto final, cerca de 80% é referente ao insumo comprado. Portanto, a avaliação dos fornecedores e a seleção do melhor fornecedor mostra-se de extrema importância para que assim o produto fabricado seja produzido com qualidade e no custo adequado para assim ofereça o efeito desejado pelo cliente no campo.

No entanto, o processo de avaliação de fornecedores ainda se apresenta muito simples, mostrando a empresa bastante adequada para aplicação do modelo. O gerenciamento de fornecedores na empresa é realizado manualmente, via planilha de Excel e utilizando fracos critérios de avaliação, basicamente os que possui certificado ISO9001 possuem melhor avaliação. As compras são realizadas comumente com fornecedores de confiança e que ofereceram produtos bons de acordo com o *feedback* do controle de qualidade, e para decisão final aqueles que oferecem o menor preço.

A empresa atualmente está desenvolvendo o Manual de Fornecimento, no qual descreve as diretrizes que os fornecedores devem atender para estar dentro do grupo de fornecedores ativos para o Grupo. O monitoramento é realizado via sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*), utilizando critérios de qualificação comuns como qualidade, prazo de entrega, preço e quantidade. Dessa forma, o Índice de qualificação de fornecedores (IQF) é calculado e tem-se o indicador de qualificação de cada fornecedor por matéria prima fornecida. Além do monitoramento do fornecedor, está descrito nesse Manual todo processo de homologação de um novo fornecedor, no qual envolve avaliação documental (licenças, certificados, etc.) e avaliação do sistema de gestão. A aprovação no processo significa que o fornecedor atende a critérios da empresa garantindo a qualidade total do processo e não apenas a qualidade do produto final.

Nesse contexto, o objetivo desse estudo de caso é aplicar o modelo proposto e validar os métodos utilizados, contribuindo assim com a literatura sobre o tema.

4.2 APLICAÇÃO DO MODELO

A pesquisa foi autorizada pela Direção da empresa, havendo assim consentimento no fornecimento dos dados necessários. A autora desse trabalho no setor de Engenharia de Processos da empresa e possui contatos com todos os setores, dessa forma, o acesso foi simples para consulta documental, procedimentos e entrevista com os avaliadores.

Na primeira etapa da aplicação do modelo, os tomadores de decisão foram definidos avaliando-se o impacto dos insumos nos processos e o interesse de cada um na melhoria dos fornecedores. Dessa forma, o Gerente de P&D (DM1), o Diretor Industrial (DM2), o Gerente de Supply Chain (DM3), o Coordenador de Produção (DM4) e a Coordenadora de Qualidade (DM5) fizeram parte do trabalho.

A fim de auxiliar na segunda e terceira etapa do modelo, escolha dos critérios e definição do peso, foram elaborados formulários no sistema da empresa, para que os avaliadores realizassem o preenchimento.

O primeiro formulário criado teve o objetivo de definir os pesos para as dimensões (econômico, ambiental e social) na avaliação dos fornecedores, dessa forma seguindo as orientações definidos no item 3.2 e as escala comparativa de termos linguísticos (Tabela 2), foi realizada a comparação par a par das dimensões.

A partir desses dados e utilizando a Tabela 2 para converter os termos linguísticos em números *fuzzy*, assim como no estudo de Ganguly e Guin (2013), obteve-se a matriz de comparação das dimensões, representada na Tabela 3, considerando DE a dimensão econômica, DA a dimensão ambiental e DS a dimensão social. Nesse momento foi verificado a consistência dos julgamentos coletados de acordo com o descrito em 2.5.1. Todos os resultados se mostraram consistentes ($<0,1$) conforme valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Matrizes de comparação das dimensões e CR

| | DE | DA | DS | CR |
|------------|---------------|-----------------|-----------------|------|
| DM1 | | | | |
| DE | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | 0,09 |
| DA | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | |
| DS | (0,7 ; 1 ; 2) | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | |

| | | | | |
|------------|-------------------|-------------------|-----------------|------|
| DM2 | | | | |
| DE | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | (1; 1,5 ; 2) | 0,06 |
| DA | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | (1; 1,5 ; 2) | |
| DS | (0,5 ; 0,7 ; 1) | (0,5 ; 0,7 ; 1) | (1 ; 1 ; 1) | |
| DM3 | | | | |
| DE | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | (0,5; 1 ; 1,5) | 0,09 |
| DA | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | (0,5; 1 ; 1,5) | |
| DS | (0,7 ; 1 ; 2) | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | |
| DM4 | | | | |
| DE | (1 ; 1 ; 1) | (1 ; 1,5 ; 2) | (1,5 ; 2 ; 2,5) | 0,04 |
| DA | (0,5 ; 0,7 ; 1) | (1 ; 1 ; 1) | (1,5 ; 2 ; 2,5) | |
| DS | (0,4 ; 0,5 ; 0,7) | (0,4 ; 0,5 ; 0,7) | (1 ; 1 ; 1) | |
| DM5 | | | | |
| DE | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | (1,5 ; 2 ; 2,5) | 0,04 |
| DA | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | (1,5 ; 2 ; 2,5) | |
| DS | (0,4 ; 0,5 ; 0,7) | (0,4 ; 0,5 ; 0,7) | (1 ; 1 ; 1) | |

Fonte: Elaborado pela autora, 2017

Após confirmada a consistência dos dados, a matriz de agregação foi gerada usando média aritmética e está representada na Tabela 4.

Tabela 4 – Matriz de agregação das dimensões

| | DE | DA | DS |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------|
| DE | (1 ; 1 ; 1) | (0,60 ; 1,10 ; 1,6) | (1 ; 1,50 ; 2) |
| DA | (0,63 ; 0,93 ; 1,8) | (1 ; 1 ; 1) | (1 ; 1,50 ; 2) |
| DS | (0,53 ; 0,73 ; 1,27) | (0,53 ; 0,73 ; 1,27) | (1 ; 1 ; 1) |

Fonte: Elaborado pela autora, 2017

Para dar continuidade nas etapas definidas em 3.2, calculou-se o valor da medida sintética de cada dimensão de acordo com a Equação 6.

$$S_{DE} = (2,60 ; 3,60 ; 4,60) \otimes \left(\frac{1}{12,93} ; \frac{1}{9,50} ; \frac{1}{7,29} \right) = (0,20 ; 0,38 ; 0,63)$$

$$S_{DA} = (2,63 ; 3,43 ; 4,80) \otimes \left(\frac{1}{12,93} ; \frac{1}{9,50} ; \frac{1}{7,29} \right) = (0,20 ; 0,36 ; 0,66)$$

$$S_{DS} = (2,05 ; 2,47 ; 3,53) \otimes \left(\frac{1}{12,93} ; \frac{1}{9,50} ; \frac{1}{7,29} \right) = (0,16 ; 0,26 ; 0,48)$$

Em seguida, calculou-se o grau de possibilidade utilizando as Equações 8 e 10.

$$V(S_{DE} \geq S_{DA}) = 1$$

$$V(S_{DE} \geq S_{DS}) = 1$$

$$V(S_{DA} \geq S_{DE}) = 0,96$$

$$V(S_{DA} \geq S_{DS}) = 1$$

$$V(S_{DS} \geq S_{DE}) = 0,70$$

$$V(S_{DS} \geq S_{DA}) = 0,73$$

Posteriormente agregou-se esses dados e aplicou-se a Equação 12 obtendo a preferência global ($d'(A_i)$) de cada uma das interações.

$$d'(DE) = \min V(S_{DE} \geq S_{DA}, S_{DS}) = \min (1; 1) = 1$$

$$d'(DA) = \min V(S_{DA} \geq S_{DE}, S_{DS}) = \min (0,96; 1) = 0,96$$

$$d'(DS) = \min V(S_{DS} \geq S_{DE}, S_{DA}) = \min (0,70; 0,73) = 0,70$$

Dessa forma, foi obtido o vetor peso através da Equação 13,

$$W' = (1 ; 0,96 ; 0,70)$$

Por fim foi obtido o vetor peso normalizado para as dimensões e os valores estão apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de peso obtidos para as dimensões

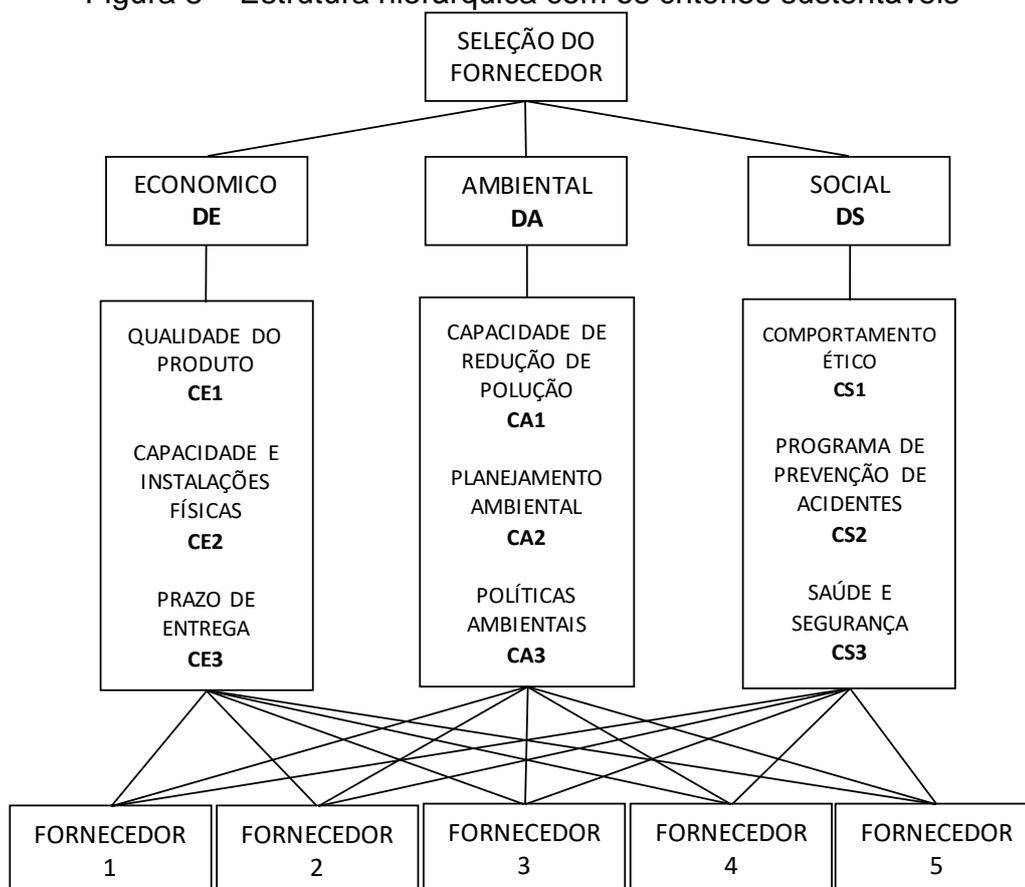
| CRITÉRIO | VALOR |
|-----------------|--------------|
| DE | 0,38 |
| DA | 0,35 |
| DS | 0,27 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2017

Após definido o peso das dimensões foi desenvolvido o segundo formulário com os critérios sustentáveis obtidos da literatura para avaliação de fornecedores (Quadro 1), o formulário foi enviado aos tomadores de decisão para seleção dos critérios mais relevantes para avaliação de fornecedores da empresa. Nesse momento, solicitou-se que fosse escolhido pelo menos um critério de cada dimensão (econômico, ambiental e social).

Após a escolha dos critérios foi construída a estrutura hierárquica que foi usada para aplicação do *fuzzy* AHP (Figura 8), os três critérios que receberam maior número de votos para cada dimensão foram os selecionados, dentro os nove critérios temos dois de caráter quantitativo (CE1 e CE3) e sete qualitativos (CE2, CA1, CA2, CA3, CS1, CS2 e CS3).

Figura 8 – Estrutura hierárquica com os critérios sustentáveis



Fonte: Da autora, 2018

Na sequência foi desenvolvido outro formulário a fim de comparar par a par esses critérios de acordo com a visão dos tomadores de decisão e usando a escala comparativa definida em 3.2, realizado conforme feito para os dados do primeiro formulário. É preciso ressaltar que a comparação nesse momento foi realizada entre os critérios relacionados a mesma dimensão.

O resultado da avaliação dos tomadores de decisão em termos linguísticos foi convertido em números *fuzzy* de acordo com a Tabela 2 e assim pôde-se gerar as matrizes de comparação dos critérios, representadas nas Tabelas 6, 7 e 8, considerando CE1 a qualidade do produto, CE2 a capacidade e instalações físicas, CE3 o prazo de entrega, CA1 a capacidade de redução da poluição, CA2 o planejamento ambiental, CA3 as políticas ambientais, CS1 o comportamento ético, CS2 o programa de prevenção de acidentes e CS3 a saúde e segurança. No mesmo momento foi avaliado a consistência dos dados conforme descrito em 2.5.1 e os resultados estão dispostos nas tabelas 6,7 e 8, os dados se mostraram consistentes ($<0,1$).

Tabela 6 – Matriz de comparação dos critérios econômicos e CR

| | CE1 | CE2 | CE3 | CR |
|------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| DM1 | | | | |
| CE1 | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | 0,09 |
| CE2 | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | (1 ; 1,5 ; 2) | |
| CE3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (0,5 ; 0,7 ; 1) | (1 ; 1 ; 1) | |
| DM2 | | | | |
| CE1 | (1 ; 1 ; 1) | (1,5 ; 2 ; 2,5) | (1,5 ; 2 ; 2,5) | 0,04 |
| CE2 | (0,4 ; 0,5 ; 0,7) | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | |
| CE3 | (0,4 ; 0,5 ; 0,7) | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | |
| DM3 | | | | |
| CE1 | (1 ; 1 ; 1) | (1 ; 1,5 ; 2) | (1 ; 1,5 ; 2) | 0,06 |
| CE2 | (0,5 ; 0,7 ; 1) | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | |
| CE3 | (0,5 ; 0,7 ; 1) | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | |
| DM4 | | | | |
| CE1 | (1 ; 1 ; 1) | (1,5 ; 2 ; 2,5) | (1 ; 1,5 ; 2) | 0,09 |
| CE2 | (0,4 ; 0,5 ; 0,7) | (1 ; 1 ; 1) | (0,7 ; 1 ; 2) | |
| CE3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | (1 ; 1 ; 1) | |
| DM5 | | | | |
| CE1 | (1 ; 1 ; 1) | (1 ; 1,5 ; 2) | (1 ; 1,5 ; 2) | 0,06 |
| CE2 | (0,5 ; 0,7 ; 1) | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | |
| CE3 | (0,5 ; 0,7 ; 1) | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Tabela 7 – Matriz de comparação dos critérios ambientais e CR

| | CA1 | CA2 | CA3 | CR |
|------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------|
| DM1 | | | | |
| CA1 | (1 ; 1 ; 1) | (2,5 ; 3 ; 3,5) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | 0,04 |
| CA2 | (0,3 ; 0,3 ; 0,4) | (1 ; 1 ; 1) | (0,3 ; 0,4 ; 0,5) | |
| CA3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (2 ; 2,5 ; 3) | (1 ; 1 ; 1) | |
| DM2 | | | | |
| CA1 | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | 0,09 |
| CA2 | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | |
| CA3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | |

| | | | | |
|------------|-------------------|-----------------|-------------------|------|
| DM3 | | | | |
| CA1 | (1 ; 1 ; 1) | (1,5 ; 2 ; 2,5) | (2,5 ; 3 ; 3,5) | 0,04 |
| CA2 | (0,4 ; 0,5 ; 0,7) | (1 ; 1 ; 1) | (0,3 ; 0,4 ; 0,5) | |
| CA3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (2,5 ; 3 ; 3,5) | (1 ; 1 ; 1) | |
| DM4 | | | | |
| CA1 | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | 0,09 |
| CA2 | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | (1 ; 1,5 ; 2) | |
| CA3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (0,5 ; 0,7 ; 1) | (1 ; 1 ; 1) | |
| DM5 | | | | |
| CA1 | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | 0,09 |
| CA2 | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | |
| CA3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Tabela 8 – Matriz de comparação dos critérios sociais e CR

| | CS1 | CS2 | CS3 | CR |
|------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------|
| DM1 | | | | |
| CS1 | (1 ; 1 ; 1) | (2,5 ; 3 ; 3,5) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | 0,04 |
| CS2 | (0,3 ; 0,3 ; 0,4) | (1 ; 1 ; 1) | (0,3 ; 0,4 ; 0,5) | |
| CS3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (2 ; 2,5 ; 3) | (1 ; 1 ; 1) | |
| DM2 | | | | |
| CS1 | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | 0,09 |
| CS2 | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | (1 ; 1,5 ; 2) | |
| CS3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (0,5 ; 0,7 ; 1) | (1 ; 1 ; 1) | |
| DM3 | | | | |
| CS1 | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | 0,09 |
| CS2 | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | (1 ; 1,5 ; 2) | |
| CS3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (0,5 ; 0,7 ; 1) | (1 ; 1 ; 1) | |
| DM4 | | | | |
| CS1 | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | 0,09 |
| CS2 | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | |
| CS3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | |

| | | | | |
|------------|---------------|-----------------|-----------------|------|
| DM5 | | | | |
| CS1 | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | 0,09 |
| CS2 | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) | |
| CS3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (0,7 ; 1 ; 2) | (1 ; 1 ; 1) | |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Conforme definido em 3.2, na sequência foram geradas as matrizes de agregação apresentadas nas Tabelas 9, 10 e 11, usando média aritmética.

Tabela 9 – Matriz de agregação dos critérios econômicos

| | CE1 | CE2 | CE3 |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| CE1 | (1 ; 1 ; 1) | (0,9 ; 1,4 ; 1,9) | (0,9 ; 1,4 ; 1,9) |
| CE2 | (0,6 ; 0,8 ; 1,5) | (1 ; 1 ; 1) | (0,8 ; 1,2 ; 1,7) |
| CE3 | (0,8 ; 0,8 ; 1,1) | (0,6 ; 0,9 ; 1,4) | (1 ; 1 ; 1) |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Tabela 10 – Matriz de agregação dos critérios ambientais

| | CA1 | CA2 | CA3 |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| CA1 | (1 ; 1 ; 1) | (1,1 ; 1,6 ; 2,1) | (0,5 ; 1 ; 1,5) |
| CA2 | (0,5 ; 0,8 ; 1,4) | (1 ; 1 ; 1) | (0,6 ; 1,1 ; 1,6) |
| CA3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (0,6 ; 0,9 ; 1,8) | (1 ; 1 ; 1) |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Tabela 11 – Matriz de agregação dos critérios sociais

| | CS1 | CS2 | CS3 |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| CS1 | (1 ; 1 ; 1) | (0,9 ; 1,4 ; 1,9) | (0,5 ; 1 ; 1,5) |
| CS2 | (0,6 ; 0,9 ; 1,7) | (1 ; 1 ; 1) | (0,7 ; 1,2 ; 1,7) |
| CS3 | (0,7 ; 1 ; 2) | (0,7 ; 0,9 ; 1,6) | (1 ; 1 ; 1) |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Seguindo as etapas definidas em 3.2 e conforme realizado na definição dos pesos das dimensões, calculou-se o valor de medida sintética de cada critério de acordo com a Equação 6.

$$S_{CE1} = (2,80 ; 3,80 ; 4,80) \otimes \left(\frac{1}{7,61} ; \frac{1}{9,50} ; \frac{1}{12,43} \right) = (0,23 ; 0,40 ; 0,63)$$

$$S_{CE2} = (2,36 ; 3,03 ; 4,17) \otimes \left(\frac{1}{7,61} ; \frac{1}{9,50} ; \frac{1}{12,43} \right) = (0,19 ; 0,32 ; 0,55)$$

$$S_{CE3} = (2,45 ; 2,67 ; 3,47) \otimes \left(\frac{1}{7,61} ; \frac{1}{9,50} ; \frac{1}{12,43} \right) = (0,20 ; 0,28 ; 0,46)$$

Em seguida, calculou-se o grau de possibilidade utilizando as Equações 8 e 10.

$$V(S_{CE1} \geq S_{CE2}) = 1$$

$$V(S_{CE1} \geq S_{CE3}) = 1$$

$$V(S_{CE2} \geq S_{CE1}) = 0,80$$

$$V(S_{CE2} \geq S_{CE3}) = 1$$

$$V(S_{CE3} \geq S_{CE1}) = 0,66$$

$$V(S_{CE3} \geq S_{CE2}) = 0,87$$

Posteriormente, agregou-se esses dados e aplicou-se a Equação 12, obtendo a preferência global ($d'(A_i)$) de cada uma das interações.

$$d'(CE1) = \text{mín } V(S_{CE1} \geq S_{CE2}, S_{CE3}) = \text{mín } (1; 1) = 1$$

$$d'(CE2) = \text{mín } V(S_{CE2} \geq S_{CE1}, S_{CE3}) = \text{mín } (0,80; 1) = 0,80$$

$$d'(CE3) = \text{mín } V(S_{CE3} \geq S_{CE1}, S_{CE2}) = \text{mín } (0,66; 0,87) = 0,66$$

Dessa forma, foi obtido o vetor peso para os critérios econômicos através da Equação 13.

$$W' = (1 ; 0,80 ; 0,66)$$

Realizando o mesmo processo para os critérios ambientais e sociais, obteve-se o vetor peso para cada critério através da Equação 13.

$$W_{CE}' = (1 ; 0,80 ; 0,66)$$

$$W_{CA}' = (1 ; 0,83 ; 0,87)$$

$$W_{CS}' = (1 ; 0,93 ; 0,89)$$

Por fim foi obtido os vetores peso normalizados para os critérios e estão apresentados nas Tabelas 12, 13 e 14.

Tabela 12 – Valores normalizados para os critérios econômicos

| CRITÉRIO | VALOR |
|-----------------|--------------|
| CE1 | 0,41 |
| CE2 | 0,32 |
| CE3 | 0,27 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Tabela 13 – Valores dos pesos normalizados para os critérios ambientais

| CRITÉRIO | VALOR |
|-----------------|--------------|
| CA1 | 0,37 |
| CA2 | 0,31 |
| CA3 | 0,32 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Tabela 14 – Valores do vetor peso normalizado para os critérios sociais

| CRITÉRIO | VALOR |
|-----------------|--------------|
| CS1 | 0,35 |
| CS2 | 0,33 |
| CS3 | 0,32 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

4.3 AVALIAÇÃO DOS FORNECEDORES

A empresa estudada apresenta um portfólio muito extenso de produtos comprado, esses produtos são divididos entre itens produtivos (matéria prima), itens

consumíveis (material de escritório, peças de reposição, etc.) e serviços. Para facilitar os cálculos, neste trabalho foram selecionados alguns fornecedores relacionados à duas matérias primas críticas para a empresa.

Para definir as matérias primas foi utilizada uma priorização usando critérios como volume comprado, valor monetário gasto na compra, impacto na qualidade do produto final e número de fornecedores disponíveis, sendo que foi usado peso dois para os dois últimos critérios.

De acordo com os resultados obtidos, os fornecedores das matérias primas Trióxido de Molibdênio e Molibdato de Sódio foram os escolhidos.

Para a avaliação dos fornecedores das matérias primas escolhidas foi usada a ferramenta *fuzzy 2-tuple* considerando os fornecedores disponíveis para compra. Sendo dois fornecedores de Trióxido de Molibdênio (F1 e F2) e três fornecedores de Molibdato de Sódio (F3, F4 e F5).

De acordo com o descrito em 3.4, foram usados os critérios sustentáveis definidos pelos DMs, sendo eles os apresentados na Figura 8. Para avaliação dos critérios quantitativos foram usados dados de inspeção de qualidade de produtos entregues. Para os demais critérios, qualitativos, foram coletados julgamentos para avaliação.

A qualidade do produto (CE1) foi medida em número de entregas dentro da especificação sobre o total de entregas do fornecedor e o prazo de entrega (CE3) foi calculado considerando o número de entregas na data acordada sobre o total de entregas. O período analisado foi de janeiro/2017 a julho/2018 e os dados foram coletados diretamente do sistema de controle de recebimento usado pela empresa. Na Tabela 15 estão apresentados os resultados para avaliação do critério qualidade do produto e prazo de entrega dos cinco fornecedores.

Tabela 15 – Avaliação dos fornecedores para os critérios quantitativos

| FORNECEDOR | CE1 | CE3 |
|-------------------|------------|------------|
| F1 | 1,00 | 1,00 |
| F2 | 1,00 | 0,75 |
| F3 | 1,00 | 1,00 |
| F4 | 0,82 | 1,00 |
| F5 | 0,67 | 0,67 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Utilizando a Equação 20 e 19 determinou-se as representações linguística 2-*tuple* dos critérios quantitativos (CE1 e CE3) associados ao valor $\vartheta \in [0,1]$ e estão apresentadas na Tabela 16.

Para coletar as avaliações dos fornecedores em relação aos critérios qualitativos, uma entrevista com o Gerente de Supply Chain (DM₃) foi realizada utilizando os termos apresentados na Figura 6. Nesse momento foi importante a avaliação somente com o DM₃ pois é responsável pelo processo de negociação diretamente com os fornecedores e assim possui informações mais precisas e confiáveis sobre o desempenho de cada fornecedores para cada critério.

Em posse dos dados de avaliação dos fornecedores e utilizando a Equação 19 para obter o valor de α , as representações 2-*tuple* para cada fornecedor foi obtida e estão apresentadas nas Tabelas 16, 17 e 18 por dimensão de critérios.

Tabela 16 – Avaliação dos fornecedores para critérios econômicos em *fuzzy 2-tuple*

| | CE1 | | CE2 | | CE3 | |
|-----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|
| | s | α | s | α | s | α |
| F1 | P | 0 | P | 0 | P | 0 |
| F2 | P | 0 | H | 0 | VH | -0,5 |
| F3 | P | 0 | P | 0 | P | 0 |
| F4 | VH | -0,062 | P | 0 | P | 0 |
| F5 | H | 0 | H | 0 | H | 0 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Tabela 17 – Avaliação dos fornecedores sobre critérios ambientais em *fuzzy 2-tuple*

| | CA1 | | CA2 | | CA3 | |
|-----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|
| | s | α | s | α | s | α |
| F1 | H | 0 | H | 0 | H | 0 |
| F2 | VH | 0 | VH | 0 | H | 0 |
| F3 | H | 0 | H | 0 | H | 0 |
| F4 | H | 0 | H | 0 | VH | 0 |
| F5 | H | 0 | H | 0 | H | 0 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Tabela 18 – Avaliação dos fornecedores sobre critérios sociais em *fuzzy 2-tuple*

| | CS1 | | CS2 | | CS3 | |
|-----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|
| | s | α | s | α | S | α |
| F1 | VH | 0 | H | 0 | VH | 0 |
| F2 | VH | 0 | VH | 0 | VH | 0 |
| F3 | VH | 0 | H | 0 | VH | 0 |
| F4 | VH | 0 | VH | 0 | H | 0 |
| F5 | VH | 0 | VH | 0 | H | 0 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Dados os resultados encontrados, realizou-se a conversão das Tabelas 16, 17 e 18 em representação contínua β utilizando a Equação 19. A determinação da pontuação final β para cada fornecedor foi obtida utilizando média ponderada dos pesos recebidos em cada critério (valores normalizados), que é calculada usando a Equação 21.

Para a determinação do termo linguístico referente à avaliação final foi utilizada a Equação 19, na qual encontrando o valor de i define-se o termo correspondente. A Tabela 19 apresenta os resultados de todas as dimensões e fornecedores.

Tabela 19 – Resultado completo da avaliação dos fornecedores

| DIMENSÕES | DE | | | DA | | | DS | | | <i>2-tuple</i> | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|----|----------|
| CRITÉRIOS | CE1 | CE2 | CE3 | CA1 | CA2 | CA3 | CS1 | CS2 | CS3 | β | s | α |
| PESO | 0,152 | 0,122 | 0,100 | 0,133 | 0,112 | 0,115 | 0,095 | 0,089 | 0,086 | | | |
| F1 | 6,00 | 6,00 | 6,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 5,00 | 4,00 | 5,00 | 4,9431 | VH | -0,057 |
| F2 | 6,00 | 4,00 | 4,50 | 5,00 | 5,00 | 4,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 4,8830 | VH | -0,117 |
| F3 | 6,00 | 6,00 | 6,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 5,00 | 4,00 | 5,00 | 4,9431 | VH | -0,057 |
| F4 | 4,93 | 6,00 | 6,00 | 5,00 | 4,00 | 4,00 | 5,00 | 5,00 | 4,00 | 4,9178 | VH | -0,082 |
| F5 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 5,00 | 5,00 | 4,00 | 4,1984 | H | 0,198 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Dessa forma, conseguimos obter o *ranking* dos fornecedores de acordo com os resultados obtidos e está apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 – *Ranking* dos fornecedores

| | Fornecedor | Avaliação linguística | α |
|----|------------|-----------------------|----------|
| 1º | F1 | VH | -0,057 |
| 1º | F3 | VH | -0,057 |
| 2º | F4 | VH | -0,082 |
| 3º | F2 | VH | -0,117 |
| 4º | F5 | H | 0,198 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O modelo proposto nesse trabalho permitiu oferecer uma alternativa prática para avaliação e seleção de fornecedores de uma fábrica de fertilizantes, agregando em sua avaliação critérios sustentáveis de natureza qualitativa e quantitativa. Os resultados trouxeram mais clareza sobre a performance dos fornecedores oferecendo resultados adequados para escolha do setor de suprimentos no momento da compra. A vantagem desse modelo está na aplicação de ferramentas práticas e adoção dos critérios sustentáveis, pouco explorados na literatura e necessários para empresas que buscam o desenvolvimento sustentável.

Dessa forma, para aplicação do modelo no estudo de caso foi realizada a coleta de dados em loco com contato direto com os tomadores de decisão. A abordagem *fuzzy* AHP foi utilizada na etapa de ponderação das dimensões e critérios de modo que mostrou adequada pois os resultados obtidos foram coerentes com o esperado pelos DMs.

Os pesos encontrados para as dimensões econômica, ambiental e social, apresentaram um padrão conhecido na literatura, dessa forma o valor maior para a dimensão econômica (0,38) e menor para dimensão social (0,26) era esperado (WANG CHEN et al., 2016; GOVIDAN; KHODAVERD; JAFARIAN, 2013; FAISAL; AL-ESMAEL; SHARI, 2017). A dimensão ambiental apresentou o peso próximo à econômica, demonstrando maior preocupação da empresa sobre questões ambientais diante de seus fornecedores. Sobre o critério social observou-se um valor

muito baixo, o que mostra a baixa preocupação com critérios sociais no monitoramento de práticas dos fornecedores.

Na etapa de seleção dos critérios foram observadas dificuldades no conceito de cada critério, pois na análise de consistência dos dados observou-se que os tomadores de decisão ficaram com dúvidas sobre a descrição de alguns critérios, levando à uma avaliação errônea, dessa forma foi necessária uma reavaliação. Isso indica uma oportunidade de melhoria para os próximos trabalhos, para isso sugere-se realizar uma descrição detalhada do conceito que compreende cada critério e avaliar junto aos tomadores de decisão se todos estão alinhados sobre as definições.

A seleção dos critérios e a definição do peso foi realizada por tomadores de decisão de várias áreas, isso foi importante para termos um banco de dados mais assertivo, pois várias visões são utilizadas e o impacto em cada área é visível pelos resultados da avaliação. Os tomadores de decisão com cargos mais altos avaliam com uma visão mais próxima a estratégia da empresa enquanto que cargos menores avaliam com a visão no impacto em suas operações, dessa forma, unindo essas visões temos o melhor para os resultados da empresa.

Após definir os pesos dos critérios observou-se a importância do critério qualidade do produto sobre os demais critérios econômicos. Esse resultado reforça a preocupação geral sobre esse tema e demonstra o entendimento da empresa sobre os impactos que um insumo de baixa qualidade pode impactar em vários processos. Nessa análise obteve-se o valor do peso exibido para o terceiro critérios econômico, prazo de entrega, mais baixo dentre os três e ficou atrás da capacidade de instalação física, o que mostra a preocupação em manter fornecedores que garantem o atendimento do insumo na quantidade que a empresa demanda, evitando o risco de faltar insumo por incapacidade.

Na análise do peso definido para os critérios ambientais observou-se uma similaridade dos critérios, esses critérios foram os mais questionados sobre a definição, entendeu-se pelos tomadores de decisão que um estava muito relacionado com o outro, devido a isso as avaliações nos levaram a valores muito próximos.

Para os critérios sociais os valores encontrados também foram muito próximos demonstrando a alta importância de cada um deles.

Durante a coleta de dados os cálculos das consistências dos dados de avaliação foram sendo realizados para cada tomador de decisão. Em algum momento

foi necessário realizar a reavaliação junto com o responsável para entender a inconsistência e atualizar os dados, dessa forma no fim tivemos todos os resultados consistentes.

Foram apresentados também nesse trabalho os resultados de análise de fornecedores de uma empresa do agronegócio na qual diversos critérios de sustentabilidade foram considerados. Os resultados se mostram importantes para o setor de suprimentos no momento da escolha do melhor fornecedor, auxiliando na agilidade e confiança na toma de decisão.

Para avaliação dos fornecedores foi usada a abordagem *fuzzy 2-tuple* e vale ressaltar que conforme descrito por Santos, Osiro e Lima (2017), se o AHP tivesse sido usado para comparar cada par de fornecedores usando todos os critérios escolhidos, a quantidade total de comparações entre pares teria tornado essa tarefa muito difícil e confusa. Além disso, qualquer mudança de fornecedores disponíveis exigiria uma nova rodada de comparações pareadas para determinar as pontuações de todos os fornecedores, deixando o processo muito mais longo. Reforçando o motivo da escolha da ferramenta.

Com base nos valores da Tabela 20 a ordem de classificação de fornecedor ficou da seguinte forma: $F1 > F3 > F4 > F2 > F5$. Portanto, podemos concluir que os fornecedores 1 e 3 tiveram o melhor desempenho sustentável de acordo com a avaliação.

No entanto, deve-se considerar que os fornecedores avaliados fornecem matérias primas diferentes. Dessa forma, para a primeira matéria prima (Trióxido de Molibidênio) o setor de suprimentos possui dois fornecedores a disposição (F1 e F2), nesse caso a prioridade de compra deverá ser feita com o F1, pois mesmo obtendo o mesmo termo linguístico (VH) que o F2, pode-se observar que na tradução simbólica o valor de α para F1 (-0,057) se aproxima mais do resultado que o valor F2 (-0,117).

Para a segunda matéria prima (Molibdato de Sódio), o setor de suprimentos tem à sua disposição três fornecedores (F3, F4 e F5), nesse caso, a melhor opção de compra será o F3 o qual apresentou uma performance ligeiramente melhor que F4 quando comparado o valor de α . O F5 ficou na última posição do *ranking*, no entanto, a performance não ficou muito ruim podendo a equipe de suprimentos tomar como ação solicitar ao fornecedor ações de melhoria para que a nota aumente e possa competir com os demais.

No momento da coleta de dados observou-se a importância de se relacionar critérios quantitativos com julgamentos de especialistas na avaliação. Os resultados se tornam bem mais abrangentes e precisos, além disso fez com que o DM refletisse sobre as ações que os fornecedores vêm tomando e o impacto que pode ser causado, pois durante o trabalho essa análise acaba não sendo feita com atenção e tempo.

No momento da avaliação foi observada algumas dificuldades para avaliar os critérios ambientais. Os fornecedores de Trióxido de molibdênio são muito diferentes entre si, sendo o F1 uma distribuidora desse material e o F2 um fabricante, o que força a esse último ter maiores controles sobre questões ambientais, pois os riscos são maiores e conseqüentemente a fiscalização também. Dessa forma, observa-se que no momento da avaliação dos critérios ambientais a visão do avaliador foi comparar os dois fornecedores, considerando melhor os critérios ambientais para o F2.

Considerando que o F1 ficou na primeira colocação, uma melhor avaliação do F2 em questão ambientais não foi suficiente para superar a melhor avaliação nos critérios econômicos do F1, máxima nessa dimensão.

Analisando os resultados da Tabela 20, observa-se a vantagem da utilização do método *fuzzy 2-tuple* para avaliação de fornecedor, conforme relatado por Herrera e Martínez (2000) esse método é mais preciso, pois quando diferentes alternativas têm o mesmo termo linguístico não podemos discernir qual alternativa é melhor, já no método baseado na representação *2-tuple*, se várias alternativas têm o mesmo termo linguístico mas um valor diferente para a translação simbólica, podemos escolher o melhor entre essas alternativas.

Para o exemplo utilizado não foi possível observar um fornecedor que tenha o desempenho muito baixo em uma das dimensões e muito alto em outra ao mesmo tempo, dessa forma, não ficou totalmente evidente o impacto na performance de não se preocupar com os critérios de todas as dimensões. Mas, caso a avaliação do F1 para os critérios sociais fosse igual dos seus critérios ambientais esse fator seria decisivo para que perdesse a venda para o F2.

Os resultados mostraram uma performance esperada de acordo com os DMs, além disso ficou evidenciado que cada fornecedor deve buscar melhorias para aumentar sua performance para o Grupo. Dessa forma, a primeira ação proposta foi informar os fornecedores e solicitar um plano de ação para que melhorem a performance no *ranking*, principalmente para as variáveis qualitativas, pois para os critérios

quantitativos os fornecedores já são informados e uma ação corretiva já é solicitada. Com isso, é possível desenvolver os fornecedores conforme necessidade da empresa.

Por outro lado, houve-se uma resistência sobre a aplicabilidade da ferramenta, isso devido ao alto número de fornecedores existentes. Nesse quesito foi sugerido pela autoria a padronização de um *check list* para cada critério qualitativo, onde são adotados questionamentos que caso o fornecedor tenha todos os requisitos receberia a maior nota (P). Um exemplo seria para o critério Políticas Ambientais (CE3) alguns questionamentos como: Existem políticas ambientais bem definidas na empresa (registro)? Essas políticas são divulgadas e todos os funcionários tem conhecimento? Foram realizadas ações durante o ano relacionadas a política? Essas ações obtiveram resultados quantitativos para demonstrar a eficácia(registro)? Dessa forma o conceito ficará mais claro e padrão para os avaliadores, tonando o processo mais ágil e confiável.

Além disso, foi questionado o impacto de realizar a compra com o F2 ao invés do F1, por exemplo, pois os resultados ficaram muito próximos e na opinião de alguns DMs não teria alto impacto sustentável, mas talvez financeiramente poderia apresentar uma alta diferença. Nessa questão foi apresentada outra sugestão pela autora, definir faixas de aceitação, nesse caso se os fornecedores ficaram acima de VH, ou seja, assumiram nível VH ou P estariam aptos para compra e escolha do comprador, caso assumam nível abaixo de VH a preferência deverá se manter aos da faixa superior. A sugestão proposta ainda foi além, caso o fornecedor assuma nível abaixo de VH deverá ser boqueado temporariamente até apresentar ações de melhorias e subir de nível. Essas ações foram aprovadas pelos decisores e serão aplicadas aos poucos na empresa.

6 CONCLUSÃO

Quando se tem um compromisso com a sustentabilidade precisa-se olhar além da sua empresa, precisa-se adotar boas práticas e construir uma cadeia sustentável, incluindo assim o processo de compras.

Nesse contexto a avaliação de fornecedores considerando critérios sustentáveis é uma atividade importante no processo de gerenciamento da cadeia de

abastecimento, pois busca a adoção de práticas socioambientais para o processo de aquisição de materiais e serviços.

Devido a importância dessa atividade, pesquisadores tem desenvolvido modelos que utilizam diferentes métodos para avaliação e seleção de fornecedores, assim as empresas podem definir qual se adequa melhor a suas práticas e adotem em sua gestão. Através da pesquisa feita nesse trabalho pôde-se observar as ferramentas que vêm sendo usadas para avaliação e seleção de fornecedores e assim escolher os métodos indicados no modelo.

O modelo proposto nesse trabalho se destaca pelo uso de variáveis qualitativas e quantitativas sustentáveis na avaliação de fornecedores, o que foi pouco visto na literatura. Dessa forma, o trabalho contribui para a área acadêmica apresentando um novo modelo para seleção de fornecedores com a possibilidade de trabalhar com critérios qualitativos e quantitativos, e a medida que os critérios ambientais e sociais se consolidarem como os econômicos a tendência é um aumento na quantidade de critérios quantitativos.

Para atingir o objetivo foi adotado métodos de decisão multicritério utilizando a abordagem *fuzzy* para que fosse agregado critérios qualitativos na avaliação e não houvesse perda de informação.

No modelo proposto primeiramente define-se os tomadores de decisão e em seguida os critérios a serem usados. Na sequência é realizada uma comparação par a par dos critérios escolhidos e aplicando a ferramenta *fuzzy AHP* um peso para cada critérios é obtido. Por fim esse peso é combinado com a avaliação de cada fornecedor sobre os critérios e utilizando a ferramenta *fuzzy 2-tuple* um *ranking* de fornecedores é construído e utilizado para escolha do fornecedor mais adequado para compra.

O modelo foi aplicado em uma indústria de fertilizante. No processo de determinação do peso dos critérios foi necessário realizar um alinhamento de informações com alguns tomadores de decisão para que houvesse comparações lógicas e aceitáveis e no processo de avaliação dos fornecedores foi observada dificuldade na definição dos conceitos dos critérios o que pode ter gerado impacto na avaliação e conseqüentemente nos resultados. Por fim, os resultados foram coerentes com o esperado de acordo com os tomadores de decisão e algumas ações para melhorar a aplicabilidade do modelo foram sugeridas. A companhia se propôs a adotar essas ações e modelo para as matérias primas de maior volume a princípio.

A empresa percebeu que o modelo aplicado proporcionou uma visão melhor dos seus fornecedores em todos os requisitos sustentáveis, podendo assim tomar ações para desenvolvê-los e por fim realizar a melhor escolha para a empresa no momento da compra.

REFERÊNCIAS

ABNT ISO 9001:2015, 2017.

AGERON, Blandine; GUNASEKARAN, Angappa; SPALANZANI, Alain. Sustainable supply management: An empirical study. **International journal of production economics**, v. 140, n. 1, p. 168-182, 2012.

ARAÚJO, Maria Creuza Borges de; ALENCAR, Luciana HAazin; VIANA, Joana Coelho. Structuring a model for supplier selection. **Management Research Review**, v. 38, n. 11, p. 1213-1232, 2015.

AWASTHI, Anjali; GOVINDAN, Kannan; GOLD, Stefan. Multi-tier sustainable global supplier selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach. **International Journal of Production Economics**, v. 195, p. 106-117, 2018.

CHAI, Junyi; LIU, James NK; NGAI, Eric WT. Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 10, p. 3872-3885, 2013.

CHAN, Felix TS et al. Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach. **International Journal of production research**, v. 46, n. 14, p. 3825-3857, 2008.

CHANG, Da-Yong. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. **European journal of operational research**, v. 95, n. 3, p. 649-655, 1996.

DE BOER, Luitzen; LABRO, Eva; MORLACCHI, Pierangela. A review of methods supporting supplier selection. **European journal of purchasing & supply management**, v. 7, n. 2, p. 75-89, 2001.

DOBOS, Imre; VÖRÖSMARTY, Gyöngyi. Green supplier selection and evaluation using DEA-type composite indicators. **International Journal of Production Economics**, v. 157, p. 273-278, 2014.

ELKINGTON, John. Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. **California management review**, v. 36, n. 2, p. 90-100, 1994.

FAISAL, Mohd Nishat; AL-ESMAEL, Bader; SHARIF, Khurram Jahangir. Supplier selection for a sustainable supply chain: Triple bottom line (3BL) and analytic network process approach. **Benchmarking: An International Journal**, v. 24, n. 7, p. 1956-1976, 2017.

GANGULY, K. K.; GUIN, K. K. A fuzzy AHP approach for inbound supply risk assessment. **Benchmarking: An International Journal**, v. 20, n. 1, p. 129–146, 2013.

GENCER, Cevriye; GÜRPINAR, Didem. Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. **Applied mathematical modelling**, v. 31, n. 11, p. 2475-2486, 2007.

GÖRENER, Ali et al. A hybrid type-2 fuzzy based supplier performance evaluation methodology: The Turkish Airlines technic case. **Applied Soft Computing**, v. 56, p. 436-445, 2017.

GOVINDAN, Kannan; KHODAVERDI, Roohollah; JAFARIAN, Ahmad. A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 345-354, 2013.

GUALANDRIS, Jury; GOLINI, Ruggero; KALCHSCHMIDT, Matteo. Do supply management and global sourcing matter for firm sustainability performance? An international study. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 19, n. 3, p. 258-274, 2014.

HERRERA, Francisco; MARTÍNEZ, Luis. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. **IEEE Transactions on fuzzy systems**, v. 8, n. 6, p. 746-752, 2000a.

HERRERA, Francisco; MARTINEZ, Luis. An approach for combining linguistic and numerical information based on the 2-tuple fuzzy linguistic representation model in decision-making. **International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems**, v. 8, n. 05, p. 539-562, 2000b.

HO, William; XU, Xiaowei; DEY, Prasanta K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. **European Journal of operational research**, v. 202, n. 1, p. 16-24, 2010.

KAHRAMAN, Cengiz et al. Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets. **Knowledge-Based Systems**, v. 59, p. 48-57, 2014.

KAHRAMAN, Cengiz; CEBECI, Ufuk; ULUKAN, Ziya. Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. **Logistics information management**, v. 16, n. 6, p. 382-394, 2003.

KAHRAMAN, Cengiz; ONAR, Sezi Cevik; OZTAYSI, Basar. Fuzzy multicriteria decision-making: a literature review. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 8, n. 4, p. 637-666, 2015.

KANNAN, Vijay R.; TAN, Keah Choon. Supplier selection and assessment: Their impact on business performance. **Journal of Supply Chain Management**, v. 38, n. 3, p. 11-21, 2002.

KAYATT, Ricardo. **ISO 20400 –Compras sustentáveis: Análise de risco por categorias de fornecedores**. In: IV Encontro: cadeias de Fornecimento Responsáveis, 4º, 2018, São Paulo. 26 slides. e-mail.

KILINCCI, Ozcan; ONAL, Suzan Asli. Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company. **Expert systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 9656-9664, 2011.

KRALJIC, Peter. Purchasing must become supply management. **Harvard business review**, v. 61, n. 5, p. 109-117, 1983.

LIMA-JUNIOR, Francisco Rodrigues; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Combining SCOR® model and fuzzy TOPSIS for supplier evaluation and management. **International Journal of Production Economics**, 174, 128-141, 2016.

LIMA-JUNIOR, Francisco Rodrigues; OSIRO, Lauro; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 781-801, 2013.

LIMA-JUNIOR, Francisco Rodrigues; OSIRO, Lauro; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. **Applied Soft Computing**, v. 21, p. 194-209, 2014.

MIRJANI, M.; WAHAB, M. I. M.; LI, K. W. A multicriteria supplier selection framework with interval-valued intuitionistic fuzzy assessment. In: **Service Systems and Service Management (ICSSSM), 2013 10th International Conference on**. IEEE, 2013.

MOHAMMADI, Hamed et al. Green supplier selection by developing a new group decision-making method under type 2 fuzzy uncertainty. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 93, n. 1-4, p. 1443-1462, 2017.

ORTIZ-BARRIOS, Miguel A. et al. Strategic hybrid approach for selecting suppliers of high-density polyethylene. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 24, n. 5-6, p. 296-316, 2017.

OSIRO, Lauro; LIMA-JUNIOR, Francisco Rodrigues; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. A group decision model based on quality function deployment and hesitant *fuzzy* for selecting supply chain sustainability metrics. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 964-978, 2018.

ÖZTÜRK, Burcu Avci; ÖZÇELİK, Funda. Sustainable supplier selection with a *fuzzy* multi-criteria decision making method based on triple bottom line. **Business and Economics Research Journal**, v. 5, n. 3, p. 129, 2014.

PRAMANIK, Dipika et al. Resilient supplier selection using AHP-TOPSIS-QFD under a *fuzzy* environment. **International Journal of Management Science and Engineering Management**, v. 12, n. 1, p. 45-54, 2017.

RAJEEV, A. et al. Evolution of sustainability in supply chain management: A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 299-314, 2017.

SAATY, Thomas L. The Analytical Hierarchy Process, Planning, Priority. **Resource Allocation. RWS Publications, USA**, 1980.

SAMPAIO, Rosana F.; MANCINI, Marisa C. Systematic review studies: a guide for careful synthesis of the scientific evidence. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.

SANG, Xiuzhi; LIU, Xinwang. An interval type-2 *fuzzy* sets-based TODIM method and its application to green supplier selection. **Journal of the Operational Research Society**, v. 67, n. 5, p. 722-734, 2016

SANTOS, Luiz Felipe de Oliveira Moura; OSIRO, Lauro; LIMA, Rafael Henrique Palma. A model based on 2-tuple *fuzzy* linguistic representation and Analytic Hierarchy Process for supplier segmentation using qualitative and quantitative criteria. **Expert Systems with Applications**, v. 79, p. 53-64, 2017.

SEGURA, Marina; MAROTO, Concepción. A multiple criteria supplier segmentation using outranking and value function methods. **Expert Systems with Applications**, v. 69, p. 87-100, 2017.

SUN, Yan et al. A reputation evaluation method for supplier selection. In: **Service Systems and Service Management (ICSSSM), 2016 13th International Conference on**. IEEE, 2016.

TING, Shin-Chan; CHO, Danny I. An integrated approach for supplier selection and purchasing decisions. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 13, n. 2, p. 116-127, 2008.

TSUI, Che-Wei; WEN, Ue-Pyng. A hybrid multiple criteria group decision-making approach for green supplier selection in the TFT-LCD industry. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2014, 2014.

VIANA, J. C., & ALENCAR, L. H. Metodologias para seleção de fornecedores: uma revisão da literatura. **Produção**, 22(4), 625-636, 2012.

WANG CHEN, Hsiu Mei et al. A *fuzzy* MCDM approach for green supplier selection from the economic and environmental aspects. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2016, 2016

WEB OF SCIENCE (apps.webofknowledge.com).

WOOD, David A. Supplier selection for development of petroleum industry facilities, applying multi-criteria decision making techniques including *fuzzy* and intuitionistic

fuzzy TOPSIS with flexible entropy weighting. **Journal of Natural Gas Science and Engineering**, v. 28, p. 594-612, 2016.

YILDIZ, Aytac; YAYLA, A. Yesim. Multi-criteria decision-making methods for supplier selection: A literature review. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 26, n. 2, p. 158-177, 2015.

YOU, Xiao-Yue et al. Group multi-criteria supplier selection using an extended VIKOR method with interval 2-tuple linguistic information. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 4, p. 1906-1916, 2015.

ZEYDAN, Mithat; ÇOLPAN, Cüneyt; ÇOBANOĞLU, Cemal. A combined methodology for supplier selection and performance evaluation. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 3, p. 2741-2751, 2011.

ZHANG, Xiaoge et al. Supplier selection based on evidence theory and analytic network process. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 230, n. 3, p. 562-573, 2016.